



ITWissen

Das große Online-Lexikon
für Informationstechnologie

Glossar

Akustik

- **100-V-Technik**
- **AB-Stereofonie**
- **Absorber**
- **ADSR**, *attack, decay, sustain, release*
- **Äquivalenzschalldruckpegel**
- **Akustik**
- **Akustische Impedanz**
- **Akustische Rückkopplung**
- **Akustischer Kurzschluss**
- **Array**
- **Beschallung**
- **Bi-Amping**
- **Bi-Wiring**
- **Booster**
- **Bündelungsgrad**
- **Crossover**
- **dB(A)**, *decibel filter (A)*
- **dB(B)**, *decibel filter (B)*
- **dB(C)**, *decibel filter (C)*
- **dB_{BrnC}**, *dB above reference noise with C-messaging weighting*
- **dB_{SPL}**, *decibel sound pressure level*
- **DI, direct injection**
- **Dolby-Digital**
- **Dolby-Surround**
- **DPE**, *digital parametric equalizing*
- **DTS**, *digital theatre sound*
- **ELA, Elektroakustische Anlage**
- **Flatterecho**
- **FLÜ, Feldleerlauf-Übertragungsfaktor**
- **Goniometer**
- **Grenzschalldruck**
- **Haas-Effekt**
- **Hall**
- **HiFi**, *high fidelity*
- **HRTF**, *head related transfer function*
- **Hörcharakteristik**
- **Hörschwelle**
- **Joint-Stereo**
- **Kammfiltereffekt**
- **Klang**
- **Klang-Library**
- **Klangsynthese**
- **Lautstärke**

- **Leistungsverstärker**
- **LFE**, *low frequency effect*
- **M/S-Stereofonie**
- **Mikrofonie**
- **Mono**
- **Nachhall**
- **Nachhallzeit**
- **Nahbesprechungseffekt**
- **PA-Anlage**
- **Phon**
- **Polyphonie**
- **Psychoakustik**
- **Rauhigkeit**
- **Raumklang**
- **Raumkriterium**
- **Reflexion**
- **Richtcharakteristik**
- **Schall**
- **Schalldruck**
- **Schallfeld**
- **Schallgeschwindigkeit**
- **Schallintensität**
- **Schallkennimpedanz**
- **Schallleistung**
- **Schallschnelle**
- **Schalltoter Raum**
- **Schallwelle**
- **Schärfe**
- **Schmerzschwelle**
- **Schwankungsstärke**
- **Sinusleistung**
- **Sone**
- **Spitzenleistung**
- **Spitzenmusikleistung**
- **Stehwelle**
- **Stereo**
- **Surround**
- **TDIF**, *Tascam digital interface*
- **THX**, *Tomlinson Holman experiment*
- **Tri-Wiring**
- **XY-Stereofonie**
- **Impressum**

100-V-Technik

100 V technology

Bei der *Beschallung* von Hallen, Sälen und Gebäuden kann nicht auf den klassischen Lautsprecheranschluss zurückgegriffen werden, da die erforderlichen Ströme für die vielen Lautsprecher einen unverhältnismäßig dicken Leiterquerschnitt erfordern würden. Aus diesem Grund werden die Lautsprechersignale der *Leistungsverstärker* auf 100 Volt transformiert und auf diesem Spannungsniveau an die parallel geschalteten Lautsprecher übertragen. Jedem Lautsprecher ist ein Transformator vorgeschaltet, der die spannungs- und impedanzmäßige Anpassung übernimmt.

Bei diesem Konzept, das dem der Energieverteilnetze vergleichbar ist, erfolgt die symmetrische, erdfreie Signalübertragung über einfache Leitungen mit geringem Durchmesser. Zur Angleichung der *Lautstärke* von einzelnen Lautsprechern oder Lautsprechergruppen, hat der dem Leistungsverstärker nachgeschaltete Anpassungstransformator mehrere Anzapfungen, an die einzelne Lautsprechergruppen angeschlossen werden können.

100-V-Systeme sind nicht auf die Spannung von 100 Volt fixiert, sie können statt der 100 V auch 50 V oder 70 V haben, wie in anderen Ländern üblich.

Weitere Vorteile sind neben dem geringen Leitungsquerschnitt eine größere Leitungslänge und der parallele Anschluss der Lautsprecher, wodurch eine Erweiterung mit zusätzlichen Lautsprechern ohne großen Aufwand möglich ist.

AB-Stereofonie

AB stereophon

Bei der *Stereofonie* unterscheidet man von den Verfahren her zwischen der Laufzeitstereofonie und der Intensitätsstereofonie. Die AB-Stereofonie ist ein Aufnahmeverfahren, dass mit Laufzeitunterschieden arbeitet.

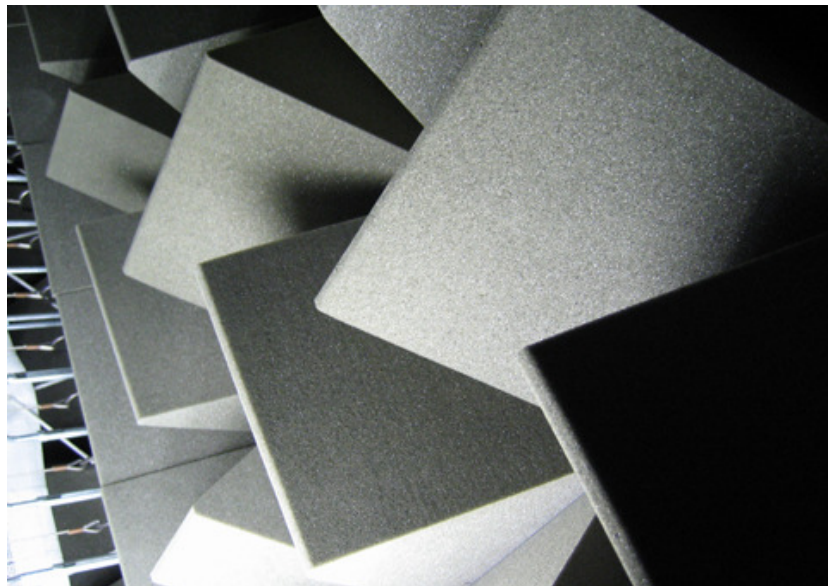
Dieses Verfahren arbeitet mit zwei Mikrofonen, die in einem relativ geringen Abstand zueinander aufgestellt werden. Der Stereo-Effekt ergibt sich aus den Laufzeitunterschieden zwischen den Schallsignalen zu den beiden Mikrofonen und ist eine hörmäßige Nachbildung

Akustik

der Schallereignisse. Der Abstand der beiden Mikrofone, die in die gleiche Richtung ausgerichtet sind, liegt bei etwa 10 cm bis 20 cm und kann dem Ohrabstand entsprechen. Die *Richtcharakteristiken* der Mikrofone können unterschiedlich sein. Je nach gewähltem Mikrofontyp und der damit verbundenen Richtcharakteristik, können störende Raumeffekte unterdrückt werden.

Absorber absorber

Von Absorber bzw. Schallabsorbern spricht man in der *Akustik*. Es handelt sich dabei um Vorrichtungen, die in einem Raum eingebaut werden und die Schallenergie aufnehmen und in eine andere Energieform umwandeln. Die akustische Absorption ist frequenzabhängig. Daher gibt es neben den stark frequenzabhängigen Absorbern auch solche, mit denen eine



Absorber, Foto: UCL Ear Institute

breitbandige Absorption möglich ist. Dazu gehören poröse und gelochte Platten, Vorhänge, Teppiche, Glas- und Steinwolle. Sie sind dann besonders effizient wenn die Luftbewegung am schnellsten, also die *Schallschnelle* am größten ist.

Bei der Anbringung von Absorbern sind die Frequenzen zu beachten, die eine Dämpfung erfahren sollen, da die Abstände zwischen den reflektierenden Wänden und den Absorbern einen Einfluss auf die zu dämpfende Wellenlänge hat.

Das Deutsche Institut für Normung e.V. (DIN) hat die Schallabsorber in Schallabsorptionsklassen eingeteilt. Nach DIN 11654, die es auch als EN-Norm und ISO-Standard gibt, sind Schallabsorber in fünf Absorptionsklassen eingeteilt. Die fünf Absorptionsklassen „A“ bis „E“ haben ein spezifisches Absorptionsverhalten in den Oktaven zwischen 250 Hz und 500 Hz, 500 Hz und 1 kHz, 1 kHz und 2 kHz sowie von 2 kHz bis 4kHz. Darüber hinaus gibt es mit DIN 18041 eine Grundlage für die akustische Qualität in mittelgroßen Räumen. Diese Norm befasst sich mit den technischen Details für die Anbringung absorbierender und reflektierender Elemente zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit.

**ADSR, attack, decay,
sustain, release**
ADSR-Modell

Das ADSR-Modell (Attack, Decay, Sustain, Release) ist ein Verfahren zur *Klangsynthese*, das auf den *Klang* beeinflussende Parameter aufsetzt. Bei diesem Verfahren werden die Klangfrequenzen in zeit- und amplitudenabhängige Faktoren zerlegt. Zu diesem Zweck werden die Anstiegszeiten von Klangbildern und die maximalen Amplitudenwerte ermittelt, ebenso die Abfallzeiten, in denen der Klang in seiner Amplitude abfällt, darüber hinaus die Halte-Zeit, das ist die Zeit bei der sich die Amplitude nur geringfügig ändert und die Abklingzeit, während der die Amplitude wieder auf Null fällt.

Äquivalenzschalldruckpegel
*equivalence sound
pressure*

Der Äquivalenzschalldruckpegel ist ein Kennwert für Mikrofone. Es handelt sich dabei um den Schallpegel, der dem Eigenrauschen des Mikrofons entspricht, das durch das Rauschen der Bauteile und Verstärkungskomponenten verursacht wird. Der Wert des Äquivalenzschalldruckpegels gibt an, wie groß der *Schalldruck* unmittelbar vor dem Mikrofon sein muss, damit die Mikrofon Ausgangsspannung der Eigenstörspannung entspricht. Der Äquivalenzschalldruckpegel wird in Dezibel (dB) angegeben und auch als mit Bewertungsfiltren in *dB(A)*. Die Werte für den Äquivalenzschalldruckpegel liegen bei <15 dB(A).

Akustik *acoustics*

Die Akustik ist die Lehre vom *Schall*, die *Psychoakustik* dessen Wahrnehmung durch den Menschen. Der Begriff kommt von dem griechischen Wort „akouein“.

Die Akustik befasst sich mit der Erzeugung und Ausbreitung des Schalls und mit dessen technischen Anwendungen. Sie beschreibt die Ausbreitung von mechanischen Schwingungen und Wellen in festen, flüssigen und gasförmigen Medien.

Als Technik hat die Akustik Einzug gehalten in der *Beschallung* von Räumen, Sälen und Stadien, ebenso im Maschinenbau, der Bau- und der Fahrzeugtechnik bei der Messung von Geräuschen, in der Aufnahme- und Wiedergabe von Schall sowie in der Psychoakustik bei der Bewertung von Klängen.

Das Spektrum der Akustik lässt sich gliedern in die Schallerzeugung, die -aufzeichnung und -messung sowie die Abstrahlung.

Akustische Impedanz *acoustic impedance*

Bei Lautsprechern kennt man die elektrische *Lautsprecherimpedanz*, die als frequenzabhängiger Widerstand den Endverstärker belastet, und die akustische Impedanz, die durch Materialeigenschaften der Ausbreitung der *Schallwellen* entgegenwirkt. Bei letztgenannter Impedanz unterscheidet man zwischen der akustischen Feldimpedanz, der akustischen Flussimpedanz und der mechanischen Impedanz. Alle drei Kennwerte wirken der Schallausbreitung entgegen.

Die akustische Feldimpedanz bzw. die *Schallkennimpedanz* bezieht sich auf die Schallausbreitung im freien Raum. Sie wird aus dem Quotienten des *Schalldrucks* und der *Schallschnelle* gebildet und wirkt der Schallausbreitung entgegen.

Die akustische Flussimpedanz bezieht sich auf die Schallausbreitung in Rohren. Sie wird aus dem Quotienten von Schalldruck und Schallfluss ermittelt.

Die mechanische Impedanz bezieht sich auf die mechanische Energie, die eine

Lautsprechermembran benötigt. Dieser Kennwert ist definiert als der Quotient aus Kraft und Geschwindigkeit.

Akustische Rückkopplung *acoustic feedback*

Eine akustische Rückkopplung ist eine unerwünschte, störende Rückkopplung in einem akustischen System bei dem sich die Lautsprecher und das Mikrofon in einem Beschallungsraum befinden. Der nach dem Entdecker benannte Larsen-Effekt tritt dann auf, wenn eine abgestrahlte Audiofrequenz identisch ist mit der Eingangsfrequenz, was bei einem normalen Mikrofon-Lautsprecher-System gegeben ist.

Bei der akustischen Rückkopplung wird ein Teil der als *Schall* abgestrahlten akustischen Leistung über das Mikrofon in das Akustiksystem eingestrahlt. Die Rückführung der Schallenergie erfolgt über Luft und den Schallraum oder über Körperschall. Da die Absorption und Reflektion des Schalls frequenzabhängig ist, ist die Rückkopplung nicht steuerbar und tritt nicht nur dann als äußerst störendes Pfeif- oder Heulgeräusch auf wenn Schall vom Lautsprecher abgestrahlt wird, sondern kann bereits durch das Verstärkerrauschen erzeugt werden.

Akustische Rückkopplungen sind instabil und können durch die Richtung des Mikrofons, durch dessen *Richtcharakteristik*, die Abstrahlrichtung der Lautsprecher, deren Positionen oder durch ein Vermindern der *Lautstärke* umgangen werden. Neben den Änderungen im Beschallungsraum gibt es auch elektronische Einflussmöglichkeiten zur Vermeidung von akustischen Rückkopplungen. So beispielsweise der Versatz der Audiofrequenz um einige wenige Hertz oder ein Laufzeitunterschied zwischen beiden Größen, was einer Phasenverschiebung gleich kommt. Dadurch weichen die vom Lautsprecher abgestrahlten Frequenzen von denen ab, die ans Mikrofon gelangen.

Akustischer Kurzschluss *acoustics short circuit*

Ein akustischer Kurzschluss ist ein akustisches Phänomen bei dem sich von Lautsprechern abgestrahlte *Schallwellen* gegenseitig auslöschen. Dieses Phänomen tritt dann auf, wenn die von der Vorderseite einer Membran abgestrahlte Schallwelle ungehindert zur Membranrückseite gelangen kann. Es findet dadurch ein Druckausgleich statt weil Lautsprecher auf der Lautsprechervorderseite den Druck verdichten und auf der Lautsprecherrückseite eine Druckminderung auslösen. Das bedeutet, dass die Druckzustände vor und hinter dem Lautsprecher entgegengesetzt wirken und sich gegenseitig kompensieren. Erst durch eine Verlängerung des Luftwegs zwischen Lautsprechervorder- und -rückseite und der damit verbundenen Zeit können sich die akustischen Schwingungen nicht mehr eliminieren. Diesen Druckausgleich verhindern Schallwände und Lautsprecherboxen. Die abgestrahlte Schallwelle kann dabei nicht unmittelbar zur Membranrückseite, sondern der Schallweg wird verlängert.

Um einen akustischen Kurzschluss zu verhindern, muss der Weg der Schallwelle länger sein als deren Wellenlänge. Die Wegverlängerung erfolgt über die Schallwand, die Lautsprecher-, Transmissionline- oder Bassreflexbox.

Array *array*

In der *Akustik* versteht man unter einem Array eine Anordnung von mehreren Lautsprecherboxen. Diese sind dicht nebeneinander angeordnet und haben unterschiedliche Abstrahlwinkel. Sie können sich allerdings gegenseitig beeinflussen und unerwünschte Interferenzen erzeugen. Deswegen ist der Aufstellungsort nach den Herstellervorschriften auszuwählen. Das gilt auch für Subwoofer.

Beschallung *acoustic irradiation*

Von Beschallung spricht man, wenn die *Lautstärke* in einem Raum oder Saal verstärkt werden muss, weil das Schallsignal wegen äußerer Einflüsse, wegen Geräusche, Lärm oder zu geringer

Lautstärke stark beeinträchtigt wird. Dieser Zustand ist dann erreicht, wenn das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) unter etwa 10 Dezibel (dB) liegt.

Die Beschallung erfolgt über *PA*-Anlagen und -Lautsprecher und soll die Verständlichkeit und Deutlichkeit verbessern, die Dynamik erweitern, die Ausgewogenheit der Darbietung zwischen Sprache, Gesang und Musikinstrumenten sicherstellen und die Lokalisierung der Schallquellen unterstützen. Neben der Beachtung der schallerzeugenden Aspekte, sind die Bauform und die Raumausstattung die entscheidenden Punkte für die Beschallung. Hierbei spielen die Raumgröße, die Beschaffenheit von Decken, Wänden und Böden, der Verwinkelung, die Bestuhlung und die Diffusions- und Absorptionsflächen die entscheidende Rolle für die Schallausbreitung.

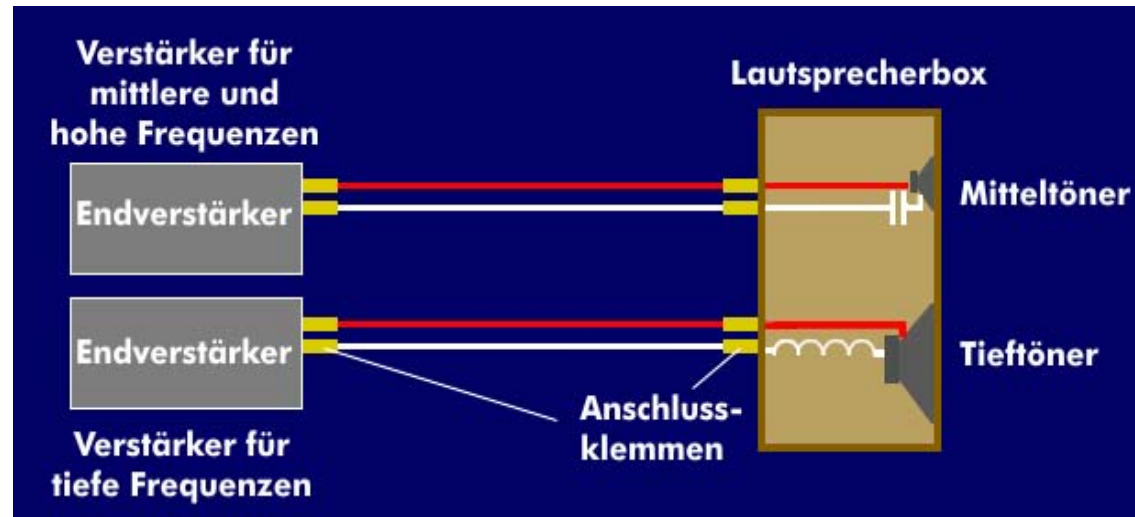
Die Beschallung ist die konzeptionelle Umsetzung der schallerzeugenden und schallbeeinflussenden Faktoren in einer Beschallungsanlage. Die Art der Lautsprecher, deren Positionierung, die Unterdrückung von Raumresonanzen, die Anbringung von Diffusoren und *Absorbern* u.v.m. mit dem Ziel einer ungestörten und verständlichen Schallausbreitung.

Bi-Amping *bi amping*

Bi-Amping ist ein Verstärker-/Anschlusskonzept für Lautsprecherboxen. Bei diesem Konzept wird der gesamte Frequenzbereich vor dem *Leistungsverstärker* in zwei Frequenzbereiche für den Hoch-/Mitteltonbereich und den für den Tieftöner unterteilt und jeder für sich in einer eigenen Endstufe verstärkt. Der Verstärker hat separate Ausgangsbuchsen für den mittleren und höheren Tonbereich sowie für den Tieftonbereich, die mit zwei Lautsprecherkabeln mit den Anschlussklemmen von der Lautsprecherbox verbunden werden: Das eine Lautsprecherkabel mit dem Tiefton-Chassis, das andere mit dem Mittel-/Hochton-Chassis.

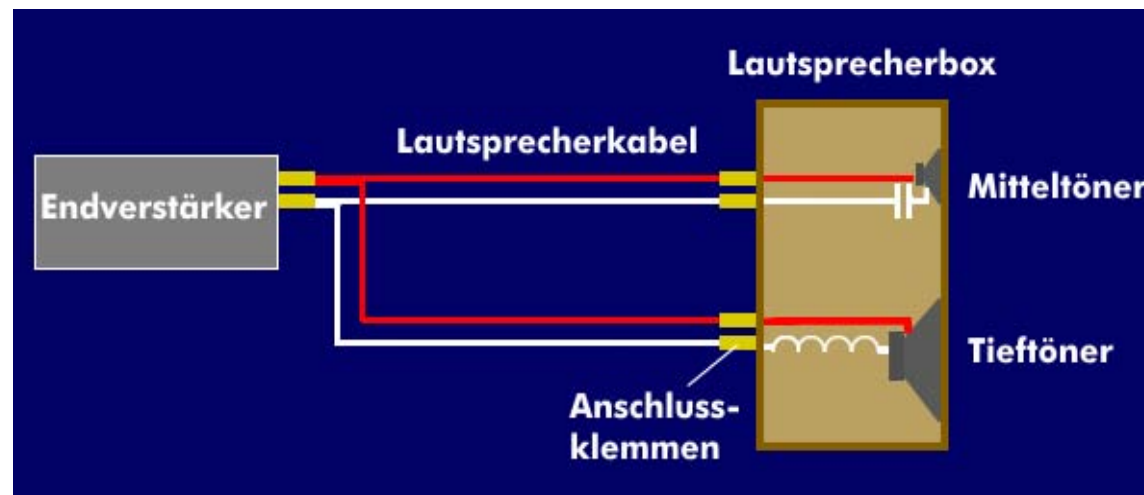
Das Bi-Amping setzt im Gegensatz zum *Bi-Wiring* oder *Tri-Wiring* einen speziellen Leistungsverstärker mit frequenzmäßiger Trennung der mittleren und höheren

Akustik



Anschlussschema beim Bi-Amping

Bi-Wiring *bi wiring*



Anschlussschema beim Bi-Wiring

Frequenzbereiche und der tieferen Frequenzen voraus. Das Bi-Amping kann ebenso als Tri-Amping mit drei getrennten Endverstärkern für die verschiedenen Frequenzbereiche von 3-Wege-Boxen ausgeführt sein.

Bi-Wiring ist ein Anschlusskonzept für Lautsprecherboxen. Es ist eine Doppelverdrahtung bei der jeweils zwei Lautsprecherkabel vom Endverstärker zu jeder Lautsprecherbox verlegt werden. Ein

Kabel wird an den Mittel-/Hochtöner angeschlossen, das zweite an den Tieftöner, das hängt vom Boxen-Konzept ab.

Voraussetzung für das Bi-Wiring ist, dass die einzelnen Chassis von außen einzeln anschließbar sind. Bei diesem Anschlusskonzept werden die Frequenzanteile für die Mitteltöner und die Hochtöner durch eine Frequenzweiche voneinander getrennt. Die beiden Lautsprecherkabel sollten in der Länge gleich sein.

Aufwendigere Konzepte sind das *Bi-Amping*, bei dem die Frequenzanteile bereits im Verstärker getrennt werden und das *Tri-Wiring*, bei dem jede Lautsprecherbox mit drei Lautsprecherkabeln verbunden wird.

Booster booster

In der Audiotechnik ist ein Booster ein *Leistungsverstärker*, der die Signale für die Lautsprecher nachverstärkt. Booster werden an die Lautsprecherausgänge geschaltet und verstärken die Ausgangspegel von leistungsschwachen Radios. Der Booster-Einsatz erfolgt vorwiegend bei Autoradios.

Bündelungsgrad DRF, directivity factor

Der Bündelungsgrad (Gamma) ist ein Kennwert von Lautsprechern und Mikrofonen. Er ist ein Maß für das Verhältnis einer bestimmten Abstrahlcharakteristik zu einer kugelförmigen Schallabstrahlung. Gleiches gilt für die Schallaufnahme von Mikrofonen. Hierbei wird die Schallaufnahme eines Mikrofons mit einer bestimmten *Richtcharakteristik* in Relation gesetzt zu der Schallaufnahme eines Mikrofons mit Kugelcharakteristik.

Daraus resultiert, dass der Bündelungsgrad ein dimensionsloser Wert ist und immer >1 sein muss, da alle Abstrahl- und Richtcharakteristiken eine gebündeltere Schallabstrahlung resp. -aufnahme haben als eine kugelförmige. Der Bündelungsgrad errechnet sich aus dem Kehrwert des *REE*-Werts (Random Energy Efficiency) und liegt je nach Richtcharakteristik bei 1 für die

Richt- charakteristik	Bündelungsgrad (Gamma)
Kugel	1,0
Breite Niere	1,7 bis 2,1
Niere	3,0
Superniere	3,7
Hypernieren	4,0
Acht	3,0

Bündelungsgrad von Mikrofonen und Lautsprechern

Kugelcharakteristik, 1,7 für die Herzform (Kardioid), 1,9 für das Superkardioid, 2 für die breite Nierencharakteristik und bei 3 für die Hypernieren.

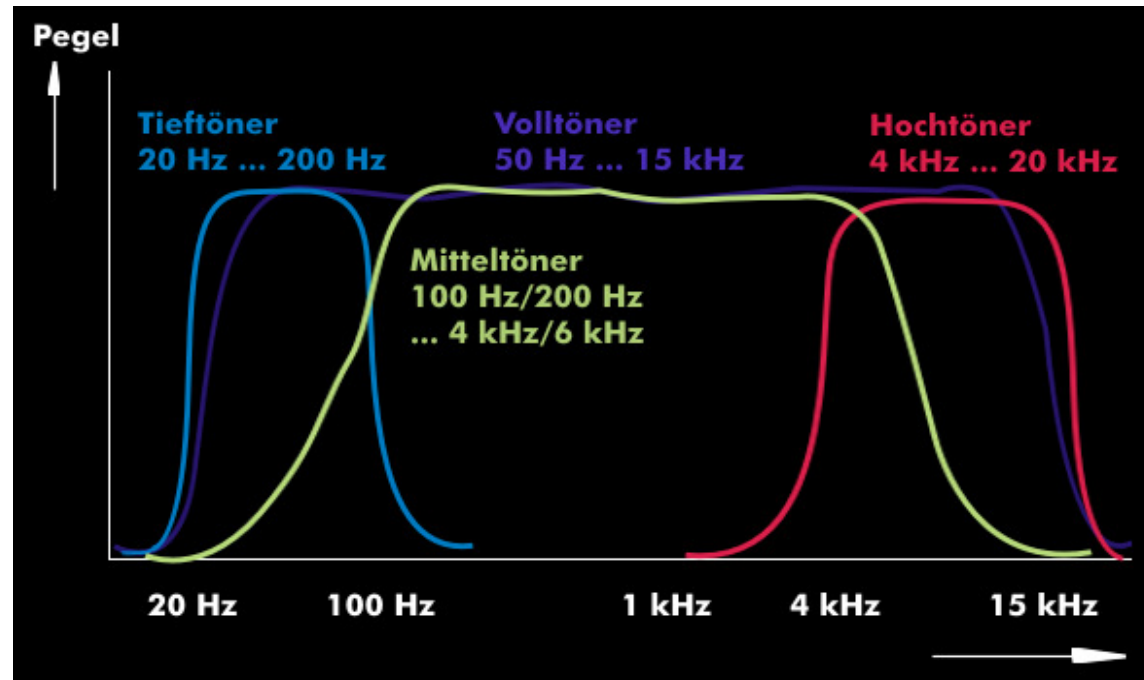
Der Bündelungsgrad ist entscheidend für die Schallaufnahme von Nebengeräuschen. Je höher er ist, desto unempfindlicher ist die Audioaufnahme gegenüber dem umgebenden Raumschall.

In der *Akustik* sind Crossover passive oder aktive Frequenzweichen mit denen das Lautsprechersignal für die verschiedenen Lautsprecher einer Lautsprecherbox frequenzmäßig aufgeteilt wird.

Der Audio-Frequenzbereich liegt zwischen 20 Hz und 20 kHz, was einem Wellenlängenbereich zwischen 17 m für eine 20-Hz-Schwingung und 1,7 cm für eine 20-kHz-Schwingung entspricht. Ein solch umfassender Wellenlängenbereich kann nur mit mehreren Lautsprechern abgedeckt werden. Aus diesem Grund muss der gesamte Audio-Frequenzbereich für Hochtöner, Mitteltöner, Tieftöner und Subwoofer über Hochpässe, Bandpässe und Tiefpässe frequenzmäßig für die Treiber aufgeteilt werden. Vom Konzept her können die Crossover die Frequenzbereiche für zwei, drei oder auch mehr Treiber aufbereiten. Da sich die einzelnen Frequenzbereiche etwas überlappen (crossover), benutzt man dafür die Bezeichnung Crossover.

Die in den Crossovers benutzten Filter charakterisieren mit ihrer Flankensteilheit die Trennung

Akustik



Frequenzbereiche der verschiedenen Lautsprecher

zwischen den Frequenzbereichen der einzelnen Lautsprecher. Typischerweise liegen die Flankensteilheiten bei 6 dB/Oktave resp. 20 dB/Dekade oder 12 dB/Oktave, sie können aber mit Filtern höherer Ordnung auf bis zu 24 dB/Oktave erhöht werden.

Neben der

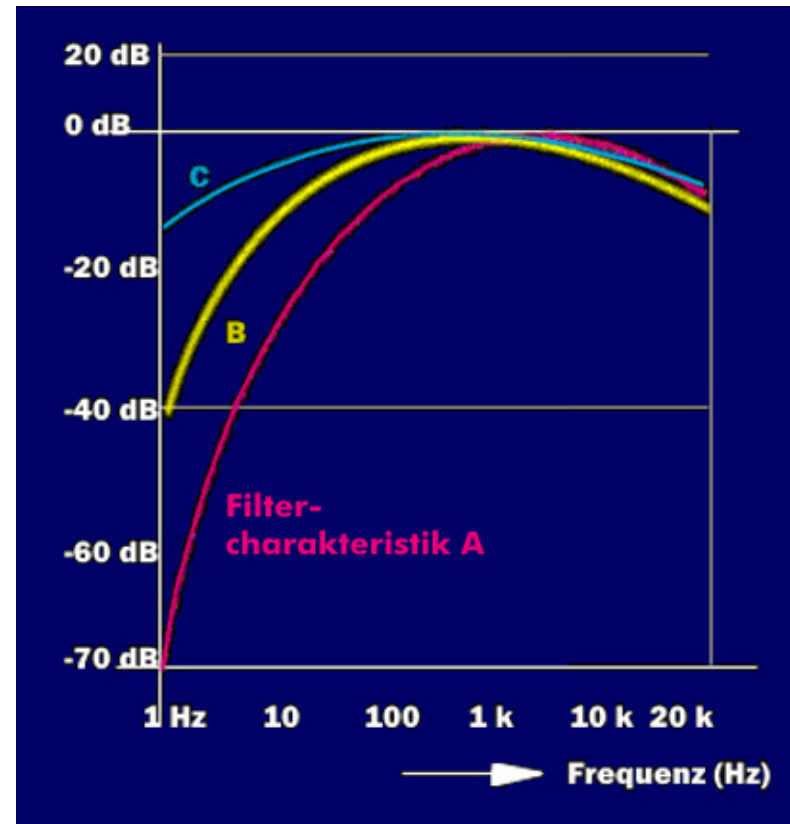
frequenzmäßigen Trennung stabilisieren Crossover auch die impedanzmäßige Belastung durch die Lautsprecher. Darüber hinaus bieten einige die Möglichkeit der Anpassung des Lautstärkepegels zur Optimierung des Klangbildes.

Passive Crossover bestehen aus Spulen, Kondensatoren und Widerständen und sind lastabhängig. Aktive basieren auf integrierten Schaltungen (IC) und diskreten Transistoren. Sie sind lastunabhängig und bilden eine impedanzmäßige Pufferung.

dB(A), decibel filter (A)

Das Hör- und Lautstärkeempfinden des Menschen wird durch das psychoakustische Gehörempfinden, das sich in der *Hörcharakteristik* ausdrückt, bestimmt. Um den vom menschlichen Gehör empfundenen *Schalldruck* bewerten zu können, wird daher bei Messungen des Schalldrucks an Arbeitsstätten das Hörempfinden nachgebildet.

Zu diesem Zweck werden bei der Schallmessung Filter vorgeschaltet, die die anatomischen



Filtercharakteristiken für die Lautstärkebewertung

Charakteristiken des menschlichen Gehörs und die Hörcharakteristik nachbilden.

Diese Schalldruckbewertung deren Filtercharakteristik auf einer Frequenzbewertungskurve mit einer *Lautstärke* von 40 Phon basieren, wird mit dem Buchstaben (A) gekennzeichnet. Bei hohen und tiefen Frequenzen sind für das gleiche Lautstärkeempfinden höhere Schalldrücke erforderlich als bei der mittleren Frequenz von 1 kHz. Das dB(A) ist ein logarithmischer Wert, der ähnliche Aussagekraft hat wie das Phon. Zwischen beiden Größen gilt das 0 dB(A) gleich $2 \times 10 \exp(-5)$ Pascal (Pa) Schallwechseldruck bei 1 kHz entsprechen. Dieser Wert ist gleichzeitig die *Hörschwelle*.

Die dB(A)-Messungen und -Werte sind in der Arbeitsstättenverordnung zum Schutz

der Arbeiter gegen die Immission von Lärm festgelegt. Es gibt eine TA-Richtlinie vom VDI aus denen die $dB(A)$ -Werte für Industrie-, Gewerbe- oder Wohngebiete für Tag und Nacht hervorgehen. Für den *PC*-Arbeitsplatz sind die Grenzwerte nicht nur in der Arbeitsstättenverordnung festgelegt, sondern auch in den TCO-Richtlinien. Nach TCO 95 darf danach der Grenzwert beim Betrieb eines Personal Computers 38 $dB(A)$ nicht überschreiten, im Leerlauf sind es 32 $dB(A)$. Für Bewertungen von höheren Lautstärken gibt es die Filterkurven (B) und (C) und die dB -Bewertungen $dB(B)$ und $dB(C)$.

$dB(B)$, *decibel filter (B)*

Die Lautstärkebewertung wird mit verschiedenen Filterkurven vorgenommen. Der Unterschied zwischen den einzelnen Bewertungen $dB(A)$, $dB(B)$ und $dB(C)$ liegt nur in den Filtercharakteristiken. Während bei $dB(A)$ als Referenzlautstärke 40 *Phon* benutzt werden, arbeitet $dB(B)$ mit einem Referenzwert von 70 *Phon* und ist damit für höhere *Lautstärken* ausgelegt.

$dB(C)$, *decibel filter (C)*

Lautstärke wird in der Arbeitsstättenverordnung mit unterschiedlichen Filtern bewertet. Während bei $dB(A)$ eine Filtercharakteristik benutzt wird, die einer Lautstärke von 40 *Phon* entspricht und $dB(B)$ für höhere Lautstärken bei 70 *Phon* arbeitet, wird $dB(C)$ für noch höhere Lautstärken mit einer Referenzcharakteristik von 90 *Phon* eingesetzt. Bei dieser Filtercharakteristik sind die Abweichungen bei hohen und tiefen Tönen wesentlich geringer ausgeprägt als bei den anderen beiden Messkurven. Die Messinstrumente für die $dB(C)$ -Messung messen „*dB above Reference Noise with C-messaging Weighting*“, $dBrnC$.

$dBrnC$, *dB above reference noise*

dB above Reference Noise with C-messaging Weighting ($dBrnC$) ist eine Audiopegelmessung, die typischerweise in der Telefonie benutzt wird. Bei der $dBrnC$ -Messung findet eine

Akustik

Gewichtung nach dem *Decibel Filter (C)* statt. Die C-Bewertung wurde vorwiegend in Nordamerika eingesetzt.

dB SPL, *decibel sound pressure level*

Das Schalldruckempfinden des menschlichen Gehörs erstreckt sich zwischen *Hörschwelle* und *Schmerzschwelle* über 14 Zehnerpotenzen. Diese enormen Schalldruckunterschiede lassen sich am Besten in logarithmischer Darstellung handhaben, und werden deshalb in dB angegeben. Beim *Schalldruck* (SPL) werden die Schalldruckpegel auf den Referenzpegel bei der Hörschwelle bezogen, der bei $10 \times 10^{-12} \text{ W/qm}$ liegt. Die Formel für den Decibel *Sound*

Akustische Leistung (W)	dB SPL	Akustische Leistung (W)	dB SPL
100.000.000	200	0,1	110
100.000	170	0,01	100
100	140	0,001	90
10	130	0,0001	80
1	120	0,00001	70
		0,000001	60
		0,0000001	50
		0,00000001	40
		0,000000001	30
		0,0000000001	20
		0,00000000001	10
		0,000000000001	0

Schalldruck angegeben in dB SPL

Pressure Level (dB SPL) ist $10 \log X \times 10^{-12}$, mit „X“ als Schalldruck in Watt pro Quadratmeter.

Das Schallempfinden ist in der *Hörcharakteristik* manifestiert und zeigt eine starke

Frequenzabhängigkeit. Aus diesem Grund erfolgt die Bewertung des Schalldrucks mit unterschiedlichen Filtern. Eines der bekanntesten und in der Technik benutzten Bewertungsverfahren bildet

in Filtern die menschliche Hörcharakteristik nach. Der gemessenen dB-Wert wird in $dB(A)$ angegeben.

DI, direct injection DI-Box

Direct Injection (DI) betrifft die Tonabnahme von Musikinstrumenten. Das Audiosignal von Musikinstrumenten kann indirekt über Mikrofone abgenommen werden, es kann aber auch über Sensoren vom Musikinstrument abgenommen und über Kabel zur Audio-Hardware übertragen werden. Da die Tonabnahme unsymmetrisch erfolgt, werden die Audiosignale auch über unsymmetrische Kabel zum Audio-Equipment übertragen. Unsymmetrische Kabel haben im Gegensatz zu symmetrischen Leitern den Nachteil, dass sich eingestrahlte Störsignale am Verstärker nicht kompensieren und keine Gleichtaktunterdrückung bieten.

Aus diesem Grund werden bei der Direct Injection (DI) die unsymmetrischen Signale in einer



DI-Box von Concert Trade

so genannten DI-Box in symmetrische Signale gewandelt. Neben der Signalumwandlung, die über einen Transformator erfolgt und eine Potentialtrennung bieten kann, erfolgt in der DI-Box auch eine Impedanzanpassung an die Audio-Eingangsimpedanz des Audio-Equipments. DI-Boxen werden überall dort eingesetzt, wo asymmetrische Ausgangssignale eines Tonaufnehmers oder eines elektronischen Musikinstruments mit den symmetrischen Eingängen von Mischpulten oder Audio-schnittstellen verbunden werden müssen.

Dolby-Digital

DD, dolby digital

Unter Dolby versteht man allgemein das Kompressionsverfahren Dolby-Digital (DD). Mit diesem Verfahren, das früher AC-3 hieß, ist eine sechskanalige Tonwiedergabe möglich, genannt DD-5.1, wobei bis zu fünf Vollkanäle und ein *LFE*-Kanal für Tiefton-Effekte einen *Surroundklang* erzeugen. Die Vollbereichskanäle sind für die vorderen Lautsprecher - links, mittig und rechts - und für die beiden Surround-Lautsprecher hinten links und rechts, die für realistische Surroundeffekte sorgen. Der Frequenzbereich dieser Lautsprecherboxen liegt zwischen 20 Hz bis 20 kHz. Der Tiefbasskanal des Subwoofers hat eine reduzierte Bandbreite bei tiefen Frequenzen.

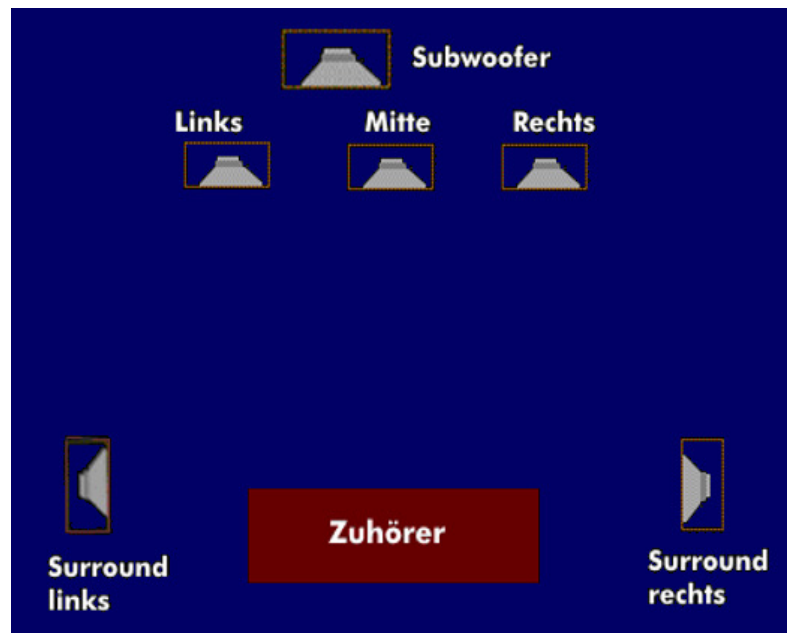
Dolby Digital (DD) wird in DVD-Audio eingesetzt und gehört neben MPEG und PCM zu den

wichtigsten Audiodateiformaten. Es arbeitet mit Codieraten von 384 kbit/s bis 640 kbit/s.

Die Dolby Laboratories haben neben Dolby Digital viele Standards in *Ton*- und Soundsystemen gesetzt. So beispielsweise für die Rauschunterdrückung.

Dolby-Digital kennt mehrere unterschiedliche Modi, die man an der Versionsangabe erkennt. Dabei bedeutet die Angabe hinter dem Punkt ob ein eigener Kanal für den Subwoofer existiert.

Dolby-Digital 1.0: einkanalige Mono-Wiedergabe über den mittig



Lautsprecheranordnung von Dolby-Digital 5.1

Akustik

angeordneten Lautsprecher.

Dolby-Digital 2.0: Zweikanalige Stereo-Wiedergabe über den rechten und linken Lautsprecher.

Dolby-Digital 4.0: Mehrkanalige kombinierte Stereo/Mono-Wiedergabe für *Dolby-Surround* über die vorderen rechten und linken Lautsprecher in Stereo, aus dem mittleren und den hinteren Lautsprechern in Mono.

Dolby-Digital 5.0: Mehrkanalige Stereo-Wiedergabe mit allen fünf Lautsprechern außer dem Subwoofer.

Dolby-Digital 5.1 (DD-5.1): Mehrkanalige Stereo-Wiedergabe mit Vollbereichskanälen und einem Basskanal, der als Low Frequency Enhancement (LFE) in MPEG-2 übertragen wird. Der Frequenzbereich für den Basskanal liegt zwischen 3 Hz und 120 Hz. DD-5.1 hat folgende Lautsprecheranordnung: Vorne links, vorne Mitte, vorne rechts, hinten links, hinten rechts und

Subwoofer.

Dolby Digital Plus (DD+) ist eine verlustbehaftete Audiokompression, die in HD-DVD und Blu-Ray-Disc obligatorisch ist.

Dolby-Digital EX: Hierbei handelt es sich um ein 6.1-Kanal-System, bei dem das 5.1-Kanal-System um einen rückwärtigen Center-Kanal (SRC) erweitert wird. Dieser Center-Kanal umfasst den gleichen Frequenzbereich wie die vorderen Kanäle. Sein Signal ist als Matrix in

Dolby Digital	
Abtastrate	48 kHz
Quantisierung	24 Bit
Kompression	8 ... 12 nach AC-3
Datenrate	64 kbit/s ... 488 kbit/s
Frequenzbereich	
Vollbereichslautspr.	20 Hz ... 20 kHz
Subwoofer	3 Hz ... 120 Hz
Dynamikbereich	96 dB
Varianten	1.0, 2.0, 4.0, 5.0, 5.1, EX 6.1

Spezifikationen von Dolby-Digital

den Signalen der beiden Surroundkanäle untergebracht. 6.1 hat ein noch realistischeres *Klangbild* gegenüber 5.1. Dolby Digital EX ist die Heimversion von Dolby-Digital-Surround EX. Neben diesen Versionen gibt es als Mehrkanaltechnik noch Dolby-Surround. Die Extension für Dolby-Digital-Dateien ist *.dts.

Dolby-Surround *dolby surround*

Neben *Dolby-Digital* gibt es als weitere Mehrkanaltechnik mit *Dolby-Surround* (DS) eine Technik für Surroundklang. Bei diesem von den Dolby Laboratories entwickelten Verfahren handelt es sich um ein Wiedergabeverfahren für *Raumklang* im Home Cinema. Dieses Surroundverfahren ist relativ alt und nur mit Einschränkungen als Raumklang zu bezeichnen, da es aus einem *Stereosignal* über eine spezielle Dolby-Matrix ein Signal für Raumklang erzeugt. Der Vorteil liegt darin, dass für die Aufnahme und Speicherung nur zwei Kanäle benötigt werden und vorhandene Abspielgeräte benutzt werden können. Technisch werden bei diesem Verfahren die Soundtracks von allen vier Tonkanälen (L, R, C, Surround) gemischt und auf zwei Tonkanäle für Stereoton codiert. Dieser Stereoton kann mit allen bekannten Aufnahme- und Wiedergabegeräten abgespielt werden.

Soll der *Ton* im Original wiedergegeben werden, muss es in einem Dolby-Decoder decodiert und in die einzelnen Tonkanäle von einander getrennt werden.

Von Dolby-Surround gibt es mehrere Versionen: Dolby Surround Pro Logic und Dolby Surround Pro Logic II.

Dolby Surround Pro Logic: Mit einer verbesserten Variante arbeitet das System Dolby Surround Pro Logic, das vier Vollkanäle für Stereo vorne links und rechts, einen codierten Center-Kanal und einen codierten Surround-Kanal für hinten links und rechts hat. Da dieses System hinsichtlich der Kanaltrennung einige Schwächen aufwies, wurde es durch das verbesserte Dolby Surround Pro Logic II abgelöst.

Dolby Surround Pro Logic II: Bei dieser Version wird das Surround-Signal auch in Stereo abgestrahlt, was bei der Vorgängerversion nicht der Fall war. Darüber hinaus wurde der Frequenzbereich erweitert. Außerdem können auch normale Stereosignale über 5.1 abgespielt werden.

Dolby Surround Pro Logic IIx: Mit dieser Version kann man Stereo oder 5.1-Signale in 6.1- und 7.1-Signale wandeln.

Dolby-Surround gibt es als 5.1, 6.1 und 7.1

DPE, digital parametric equalizing

Digital Parametric Equalizing (DPE) sind steilflankige IIR-Filter zweiter Ordnung mit einstellbaren Grenzfrequenzen und Dämpfungswerten. Es handelt sich um Filter im Audiobereich mit denen unerwünschte Raumresonanzfrequenzen gedämpft und die Frequenzabstrahlung von Lautsprechern geglättet werden kann. Durch das Digital Parametric Equalizing wird eine Klangverbesserung erreicht.

DTS, digital theatre sound

Digital Theatre *Sound* (DTS) ist ein 6-kanaliges Kompressionsverfahren für *Surroundklang*, vergleichbar *Dolby-Digital*. Das Verfahren ist verlustbehaftet und soll bei einem niedrigen Kompressionsverhältnis eine bessere Klangqualität als Dolby-Digital bieten. DTS arbeitet mit einer Datenrate von bis zu 1.509,75 kbit/s und wie Dolby mit Surroundkanälen. Bei diesen Kanälen handelt es sich um berechnete, codierte Tonkanäle, die das Richtungsempfinden unterstützen.

Das Audiodateiformat gibt es in 3 Varianten:

DTS 5.1: Surroundklang mit sechs Audiokanälen für vorne rechts, links und mittig, für hinten rechts und links sowie einen *LFE*-Kanal für einen Subwoofer. Dieser überträgt einen reduzierten Frequenzumfang im Tieffrequenzbereich.

DTS 6.1: Bei DTS 6.1 handelt es sich um den erweiterten Tonstandard DTS-ES für Surroundklang mit sieben Tonkanälen. Das Verfahren entspricht im Wesentlichen dem von DTS 5.1 mit dem Unterschied, dass das Signal für den hinteren Centerlautsprecher über eine Matrix aus den beiden hinteren Signalen (links und rechts) gewonnen wird. Neben den sechs Lautsprechern hat DTS 6.1 noch einen Tieffrequenzkanal für den Subwoofer.

DTS-ES Discrete (6.1): Surroundklang mit sieben Tonkanälen für vorne rechts, links und mittig, hinten rechts, links und mittig und einem Tieffrequenzkanal für einen Subwoofer. Im Unterschied zu DTS 6.1 ist der hintere mittlere Kanal ein Volltonkanal. DTS-ES 6.1 ist die DHT-Version für THX und nennt sich in der Weiterentwicklung DTS-ES 6.1 discrete.

DTS++, dieses Format, das für die Blu-Ray-Disc und die HD-DVD obligatorisch ist, wurde umbenannt in DTS-HD (High Definition) und DTS-MA (Master Audio). Während DTS-HD 7.1 Tonkanäle hat, arbeitet DTS-MA verlustfrei mit zwei bzw. acht Tonkanälen. Bei zwei Tonkanälen ist die Abtastrate jeweils 192 kHz, bei acht jeweils 96 kHz.

**ELA, Elektroakustische
Anlage**
*electro-acoustics
installation*

Wie aus dem Begriff elektroakustische Anlage (ELA) bereits hervorgeht, handelt es sich um akustische Anlagen, die die Elektrotechnik für die Signalübertragung einsetzen. Eine elektroakustische Anlage umfasst alle Komponenten, die den *Schalldruck* in elektrische Signale wandeln, diese erfassen, verarbeiten, speichern und übertragen und wiederum den elektrischen *Schall* in Schall wandeln. Die elektroakustische Verarbeitungskette beginnt bei den Mikrofonen die für die Umwandlung des Schalls in elektrische Spannungen sorgen, setzt sich fort über *Mikrofon-Vorverstärker*, Verstärker, Mischer, Equalizer und weitere Audio-Effektkomponenten, über die *Leistungsverstärker* bis hin zu den Lautsprechern und den PA-Anlagen in *100-V-Technik*.

Flatterecho

flutter echo

Wenn ein Echo mehrmals zwischen parallelen schallreflektierenden Wänden hin und her reflektiert wird, spricht man von einem Flatterecho. Ein solches Flatterecho tritt bevorzugt in Raumecken auf und kann auf Resonanzen und *Stehwellen* basieren und den gesamten Schalleindruck nachteilig beeinflussen.

Flatterechos können durch entsprechende *Absorber* absorbiert werden.

FLÜ, Feldleerlauf-Übertragungsfaktor

idle tranmission factor

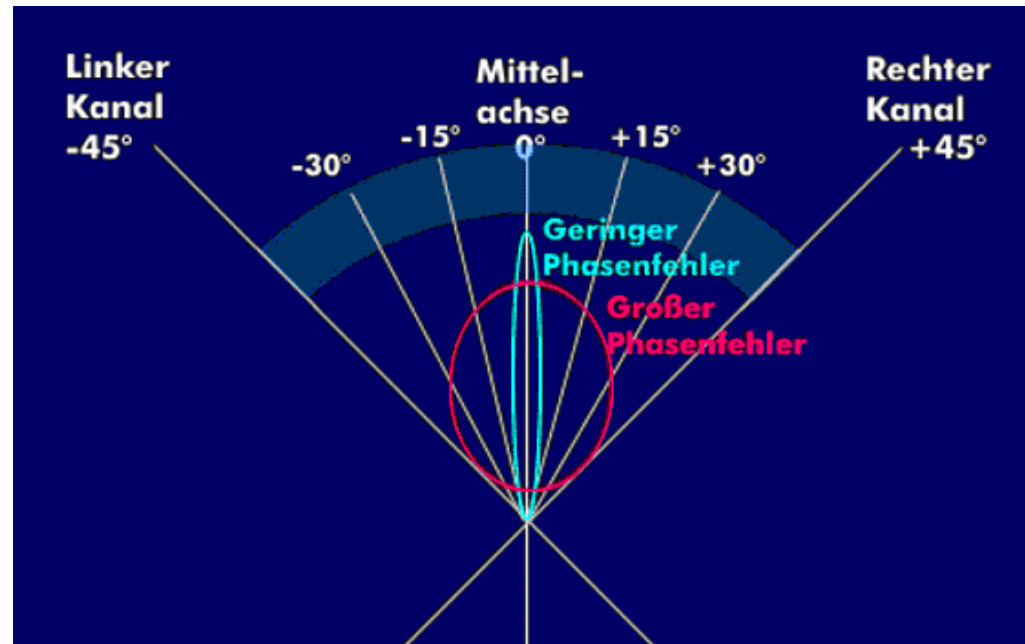
Aus der Bezeichnung Feldleerlauf-Übertragungsfaktor (FLÜ) kann diverse Rückschlüsse auf diesen Mikrofon-Kennwert schließen. Es handelt sich dabei um die Mikrofon-Empfindlichkeit, ermittelt unter definierten Schallbedingungen. Das „Feld“ stellt dabei einen reflexionsarmen Raum für die FLÜ-Messung dar. Des Weiteren ist das Mikrofon unbelastet, es ist schaltungstechnisch im „Leerlauf“. Praktisch ist es sehr hochohmig abgeschlossen, damit keine Rückwirkungen vom Abschluss auf die Empfindlichkeit oder den Frequenzgang erfolgen. Der an der Membran vorhandene *Schalldruck* eines 1-kHz-Signals, muss 1 *Pa* betragen, wobei die Entfernung zwischen Schallquelle und Mikrofon unerheblich ist. Mit diesen Randbedingungen wird der Feldleerlauf-Übertragungsfaktor (FLÜ) bestimmt. Sie wird in dBV angegeben, ist in geringer Weise abhängig vom Mikrofontyp und liegt etwa zwischen -30 dBV bis -60 dBV.

Goniometer

goniometer

Allgemein ist ein Goniometer ein Winkelmesser. Die Bezeichnung wird aber auch in der akustischen Messtechnik für ein Gerät zur Messung der *Stereofonie* benutzt, weswegen es auch als Stereometer bezeichnet wird.

Ein Goniometer zeigt auf einem Display die Stereowiedergabe und die Verteilung des Stereoklangs im Raum an. Die Darstellung benutzt ein winkelförmiges Koordinatensystem mit einer Mittelachse und zwei um 45° gegen die Mittelachse versetzte Achsen für den linken und



Goniometrische Darstellung im gewinkelten Koordinatensystem

rechten Kanal. Bei der Darstellung eines *Monosignals*, das an beiden Kanälen anliegt, stellt das Goniometer eine Gerade in der Mittelachse dar. Wird das Monosignal an einen der beiden Kanäle gelegt, so wird sich eine Gerade im Winkel von 45° ausbilden. Je nachdem ob das Signal an den linken oder rechten Kanal gelegt wurde.

Stereodarstellungen

breiten sich zwischen den beiden äußeren Achsen aus und lassen Rückschlüsse auf die Stereobreite und die Gewichtung zwischen den beiden Kanälen zu. Darüber hinaus können mit Goniometern Phasenprobleme zwischen den beiden Kanälen festgestellt und mittels Lissajous-Figuren analysiert werden. Phasenverschiebungen zeigen sich dann, wenn man das gleiche Frequenzsignal an beide Kanäle anlegt und sich die dargestellte Lissajous-Figur zu einem Kreis oder zu einer Ellipse formt.

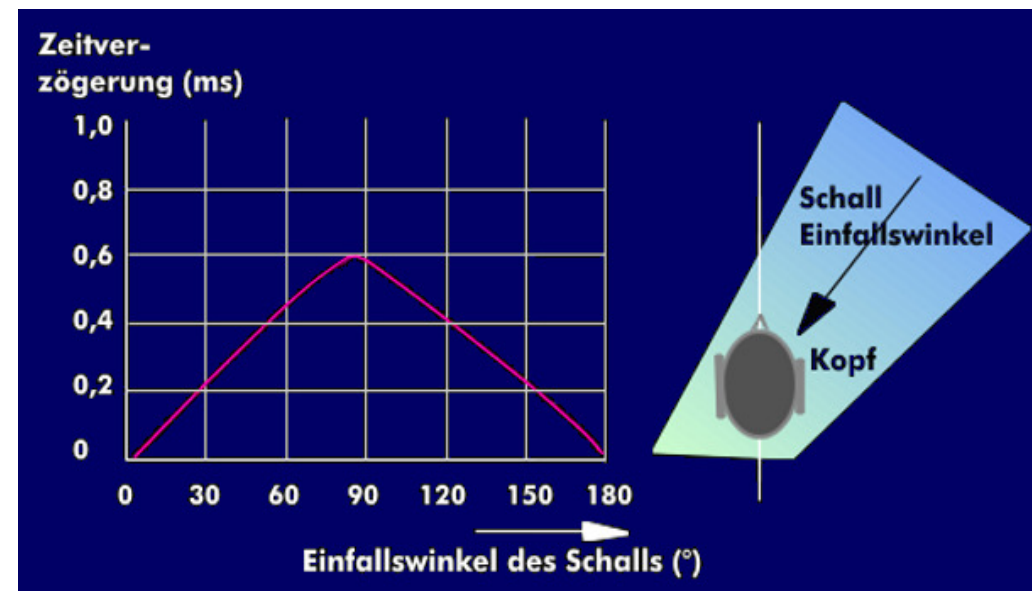
Der Grenzschalldruck ist ein Kennwert von Mikrofonen. Es handelt sich um den *Schalldruck* eines 1-kHz-Tons, den ein Mikrofon in einem Abstand von 1 m mit einem bestimmten

Akustik

Klirrfaktor verarbeiten kann. Bei der Angabe des Grenzschalldrucks ist der Klirrfaktor angegeben. Dieser kann bei 0,5 % liegen, oder auch andere Werte haben. Tauchspulen-Mikrofone sind anderen Mikrofonen in Bezug auf den Grenzschalldruck überlegen. Gegenüber Kondensatormikrofonen kann ein Tauchspulenmikrofon einen um etwa 30 dB höheren Schalldruck verzerrungsfrei verarbeiten.

Haas-Effekt *Haas effect*

Beim Haas-Effekt geht es um die akustische Lokalisierung von Schallquellen, die in den drei Ebenen vorne, hinten und oben erfolgt. Der Haas-Effekt, benannt nach dessen Namensgeber und Entdecker, wird auch als „Gesetz der ersten Wellenfront“ oder als Präzedenzeffekt bezeichnet. Es geht darum, dass man Schallquellen immer danach lokalisiert, aus welcher



Zeitverzögerung bei der Lokalisierung von Schallquellen (Haas-Effekt)

Richtung die erste Wellenfront auf das Gehör trifft.

Die Ortung von Schallquellen erfolgt beim Menschen durch die Zweiohrigkeit. Entscheidend für die Lokalisierung des Schallortes ist der Laufzeitunterschied, den Schallsignale zwischen den beiden Ohren aufweisen. Liegt die Schallquelle in

der Mitte vor dem Hörer, haben die Signale keine Laufzeitunterschiede, da beide Ohren den gleichen Abstand zur Schallquelle aufweisen. Trotzdem ist auch bei monophonem *Schall* eine Lokalisierung der Schallquelle möglich, weil bestimmte Frequenzbänder von der Ohrmuschel abgeschattet werden. Allerdings ist die Bestimmung des Schallortes weniger präzise als bei stereophoner Wiedergabe.

Bei der Lokalisierung spielt der Laufzeitunterschied zwischen beiden Ohren, der je nach Kopfdrehung zwischen 20 μ s und 600 μ s liegt, eine entscheidende Rolle, da das Gehirn die Zeit- und Pegelunterschiede analysiert und daraus den Einfallswinkel und die Entfernung des Schallortes ableitet.

Hall ist reflektierter *Schall*, der den Raumeindruck erzeugt. Bei Hall werden viele *Reflexionen* mit unterschiedlichen Laufzeiten erzeugt, die in unregelmäßigen Zeitabständen gemeinsam mit dem Originalsignal gehört werden.

Hall wird synonym mit *Nachhall* benutzt und ist entscheidend für den *Raumklang*. Erst durch Hall können einzelne Schallquellen positioniert und besser wahrgenommen werden. Ein Orchester erfährt erst durch den Hall die räumliche Positionierung, die notwendige Trennung und Tiefe der Instrumente. Die Beschaffenheit der reflektierenden Wände ist entscheidend für das *Klangbild*. Während glatte und harte Oberflächen den Schall mehr oder weniger komplett reflektieren, absorbieren strukturierte Oberflächen und weiche Materialien wie Stoffe oder Teppiche höhere Frequenzen überproportional. Mittlere und tiefe Frequenzen werden kaum absorbiert, so dass das Klangbild zu tieferen Frequenzen hin verschoben wird.

Wie der Schall nimmt auch der Hall proportional mit der Entfernung ab. Den zuerst reflektierten Schall nennt man Erstreflexion. Dieser wird wiederum in diffuseren Reflexionen an Wänden und Böden reflektiert und vermittelt dadurch den Raumeindruck, deshalb auch die

Hall
hall

Akustik

Bezeichnung Diffus-Hall.

In den Anfängen der Audiotechnik wurde der Hall technisch mit Hallfedern erzeugt oder in Echoräumen. Bei der Hallfeder nutzte man die Verzögerung einer mechanischen Feder mit variablen Federlängenwegen um die Laufzeiten zu simulieren. Mit der Digitaltechnik lässt sich der Hall elektronisch realisieren. Bei dieser Technik werden bestimmte Reflexionspunkte simuliert.

Neben den genannten Halltechniken gibt es noch die Technik der Impulsfaltung. Bei dieser rechenintensiven Technik werden die Schnittmengen der Frequenzspektren zweier Signale miteinander kombiniert.

HiFi, *high fidelity*

Die Abkürzung Hifi steht für High Fidelity und ist ein Qualitätsmerkmal für Audiowiedergaben mit hoher Wiedergabetreue. Nachdem der Begriff in der Anfangszeit willkürlich für akustische Geräte mit hoher Klangqualität stand, hat man später mit der Normierung eindeutige Spezifikationen festgelegt.

In der Norm DIN 45500 sind die Mindestbedingungen für *Akustik*-Geräte und -Anlagen mit höherer Wiedergabequalität beschrieben. Alle Geräte, die diese Norm erfüllen, dürfen als HiFi-Geräte bezeichnet werden. So hat man beispielsweise bestimmt, welchen Frequenzbereich, Klirrfaktor, Intermodulationsfaktor, Kanalgleichheit usw. die Wiedergabegeräte und Lautsprecher besitzen müssen.

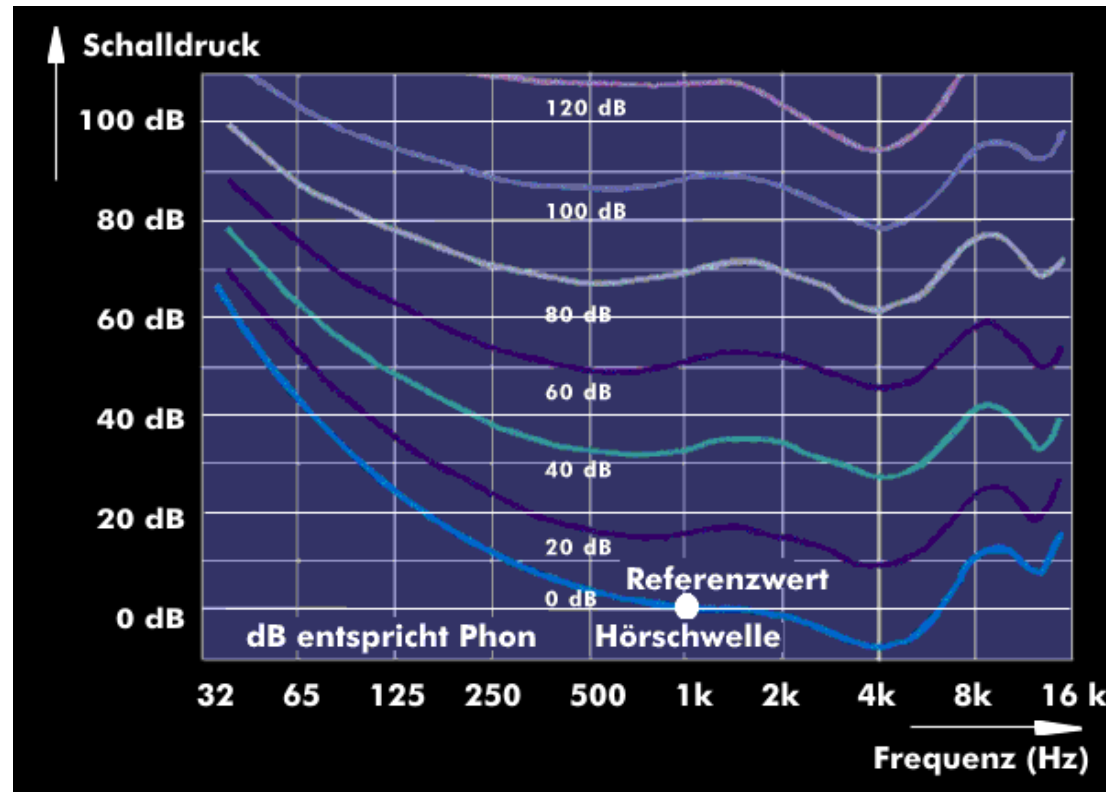
HRTF, *head related transfer function*

Bei der Entwicklung von binauralen Audiosystemen spielen die Laufzeit-, Frequenz- und Pegeldifferenzen des *Schalls*, der das menschliche Ohr erreicht, eine entscheidende Rolle. Der Einfluss dieser Parameter wird als kopfbezogene Übertragungsfunktion, der Head Related Transfer Function (HRTF), bezeichnet. Die HRTF-Funktionen beziehen sich auf den Schall, der

Akustik

direkt oder indirekt als reflektierter Schall von Wänden, Decken und Möbeln auf das Ohr trifft. Das Gehirn wertet auch den reflektierten, diffusen Schall aus und ebenso das Schallempfinden, das durch Drehen, Senken oder Heben des Kopfes entsteht. Alle *Schallwellen*, die direkten, die indirekten, reflektierten und diffusen, bestimmen das binaurale Hören.

Hörcharakteristik *range of audibility*



Hörcharakteristik mit Hörschwelle

Das menschliche Ohr hat ein frequenz- und altersabhängiges Hörempfinden: die so genannte Hörcharakteristik. Der hörbare Frequenzbereich ist lautstärkeabhängig und liegt bei Kindern im Frequenzbereich zwischen 20 Hz und 20 kHz. Die Hörcharakteristik ändert sich mit unterschiedlichen Schallpegeln und hat ihre höchste

Sensitivität bei Frequenzen zwischen 2 kHz und 4 kHz. Bei diesen Frequenzen erreicht das Gehör einen maximalen Dynamikumfang bis zur *Schmerzschwelle* von etwa 130 dB. Töne mit höheren Frequenzen als 4 kHz werden ebenso wie tiefere Töne bei gleichem *Schalldruck* als leiser empfunden. Des Weiteren sind bestimmte Frequenzen oberhalb von 16 kHz und unterhalb von 30 Hz nicht hörbar.

Die empfundene *Lautstärke*, die in *Phon* angegeben wird, ist abhängig von dem akustischen Signal und dessen Signalfrequenz. Der Bezugswert für den Schalldruck ist 0 dB bei einer Frequenz von 1 kHz. Je nach Tonhöhe werden die Signale mit gleichem Schalldruck unterschiedlich laut empfunden. Dies wird durch die Linien, die den gleichen Schalldruck aufweisen, in der Hörcharakteristik verdeutlicht.

Die geringste wahrnehmbare Lautstärke repräsentiert die *Hörschwelle*. Die Hörschwelle ist eine frequenzabhängige Kennlinie, die den niedrigsten wahrnehmbaren Schalldruck in Bezug zur Frequenz darstellt. Die höchste wahrnehmbare Lautstärke ist die Schmerzschwelle, die bei Schalldrücken von etwa 130 dB liegt. Der Bereich zwischen der Hörschwelle und der Schmerzschwelle wird Hörfeld genannt.

Hörschwelle

HL, hearing threshold

Die Hörschwelle (HL) charakterisiert die geringste *Lautstärke*, die ein Hörender wahrnehmen kann. Es handelt sich dabei um eine empirisch ermittelte Kennlinie der *Hörcharakteristik*, die den niedrigsten wahrnehmbaren *Schalldruck* über den hörbaren Frequenzbereich darstellt. Der Referenzwert beträgt bei 1.000 Hz 0 Dezibel (dB). Die Hörschwelle von 0 dB liegt bei einer *Schallleistung* (Pa) von 20 µPa, was 2×10^{-5} N/qm entspricht. Sie ist frequenzabhängig und steigt bei tiefen und hohen Tönen stark an. Das bedeutet, dass tiefe Töne, wenn sie mit gleicher Lautstärke empfunden werden sollen, einen wesentlich höheren Schalldruck benötigen. So muss ein tiefer Basston mit einem etwa 50 dB höheren Schalldruck

abgestrahlt werden damit er genau so laut empfunden wird, wie ein 1-kHz-Ton. Die Hörschwelle ändert sich mit der Lautstärke. Bei lauten Tönen steigt die gesamte Kennlinie zu höheren Pegeln hin an, bei leisen Tönen sinkt sie ab und wird empfindlicher.

Joint-Stereo

joint stereo

Joint-Stereo ist eine Stereotechnik, die gegenüber echtem Stereo eine höhere Kompression aufweist, da bestimmte Kanalinformationen zusammengefasst werden. Dieses Verfahren, das in MP3 eingesetzt wird, wird auch als *M/S-Stereofonie* bzw. Middle/Side-Stereo-Codierung bezeichnet.

Da bei normalen Stereo-Übertragungen gewisse Redundanzen zwischen den Signalen vom linken und dem rechten Kanal bestehen, setzt Joint-Stereo auf Redundanzreduktion. In Joint-Stereo werden daher ein Summensignal und ein Differenzsignal übertragen, die aus den Signalen der beiden Kanäle gebildet werden. Das Differenzsignal setzt sich aus den Unterschieden der Frequenzbänder und der *Lautstärke* zusammen. Da bei der Klangwiedergabe die tieferen Frequenzbänder nicht richtungssensitiv sind, müssen diese nicht getrennt übertragen und abgestrahlt werden.

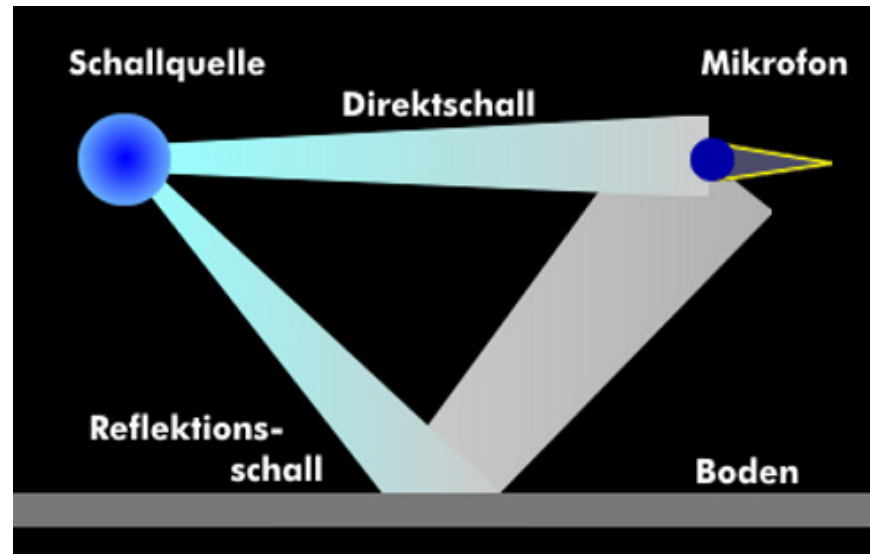
Durch die Redundanzreduktion fallen weniger Daten an und die Übertragung kann mit geringerer Bitrate erfolgen. Joint-Stereo funktioniert nur dann, wenn die Audiosignale vom linken und rechten Kanal geringe Unterschiede aufweisen.

Kammfiltereffekt

comb filter effect

Kammfiltereffekte treten in der *Akustik* auf und werden durch die Überlagerung von zeitversetzten Signalen verursacht. Zeitversetzte Signale entstehen dann, wenn ein Signal direkt, weitere über Reflektionen an Wänden, Böden oder Decken an einem Mikrofon oder dem Hörer eintreffen. Das Direktsignal trifft zeitlich vor den Reflexionssignalen ein, wodurch sich die Signale gegenseitig beeinflussen. Dies kann sich in einer Betonung oder Dämpfung des

Akustik



Laufzeitunterschiede beim Kammfiltereffekt

gleich groß und haben die gleiche Phasenlage, summieren sich die Pegel auf den doppelten Amplitudenwert, haben sie entgegengesetzte Phasenlage, löschen sie sich gegenseitig aus. Aus der Summierung und der Subtraktion verschiedener Frequenzen entsteht ein Frequenzspektrum, dass dem eines Kammfilters vergleichbar ist, daher auch die Bezeichnung Kammfiltereffekt.

Tons ausdrücken.

Da die Reflexionslaufzeiten konstant sind, verschieben sich die Phasenlagen mit der Frequenz. Eine tiefere Frequenz könnte somit in der Phasenlage so liegen, dass sie sich mit der direkt eintreffenden summiert, eine höhere könnte hingegen einen Teil der direkt eintreffenden Frequenz kompensieren und damit im Pegel verringern. Sind die Amplituden des direkten und des reflektierten Tons

Klang ist eine Überlagerung von mehreren Tonfrequenzen. Der Klang setzt sich aus der Grundfrequenz und den Harmonischen eines Resonanzkörpers zusammen. Die Oberwellen, die die Grundfrequenz überlagern und immer ein Vielfaches von dieser betragen, bestimmen das Klangbild. Der Klang setzt somit voraus, dass die Einzelschwingungen in einem ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen. Nur durch die Kombination aller Frequenzen wird der für das

Instrument charakteristische Klang erzeugt. Die tiefste Frequenz eines Klangs ist deren Grundschwingung.

Ein Klang kann also ein Einzelton mit Obertönen sein, aber auch ein Akkord.

Klänge sind in der Fourier-Transformation an einem diskreten Frequenzspektrum zu erkennen.

Jede Grund- und Oberwelle hat eine eigene Spektrallinie.

Wird der Klang synthetisch erzeugt, spricht man von *Klangsynthese*.

Klang-Library *sound library*

In der Studioteknik werden *Klänge* und Klangbilder durch authentisch klingende Libraries generiert. Es handelt sich dabei um Plug-Ins für Personal Computer (PC), mit denen Instrumente und Orchestergruppen erzeugt werden können. Die vielfältigen Funktionen der Klang-Libraries reichen bis hin zu den Saitenanschlägen von Geigen oder anderen Instrumenten.

Klangsynthese *sound synthesis*

Bei der Klangsynthese werden *Klänge* synthetisch erzeugt. Dafür gibt es die unterschiedlichen technischen Verfahren, die immer auf der Generierung der *Töne* mit Oszillatoren, der Modulation mit Mischen und dem Ausfiltern von Tönen mit Filtern basieren.

Da nichtsinusförmige Frequenzen je nach Form sehr viele Oberwellen enthalten, können aus solchen Frequenzen durch Unterdrückung einzelner Oberwellen andere Klänge hergestellt werden. Man spricht in diesem Fall von subtraktiver Synthese.

Werden hingegen Sinussignale zweier Oszillatoren miteinander moduliert, dann ist das Frequenzverhältnis beider Frequenzen entscheidend für die neue Mischfrequenz. Liegt die Modulationsfrequenz hinreichend tief bei unter 20 Hz, dann bewirkt eine solche Frequenzmodulation das Klangbild eines Vibrators. Bei höheren Frequenzen entstehen diverse Oberwellenspektren, die für die Klangerzeugung genutzt werden können. Man spricht bei einer

solchen Klangsynthese von einer FM-Synthese.

Neben den genannten Klangsyntheseverfahren gibt es noch das Wavetable-Verfahren, das auf Computermodellen von Instrumenten basiert und die Klänge durch mathematische Berechnung erzeugt, und die subtraktive Synthese.

Lautstärke *loudness*

Die Lautstärke oder *Lautheit* ist der subjektiv empfundene *Schalldruck*, der in *Phon*, resp. *dB SPL*, angegeben wird. Sie ist frequenzabhängig, was dazu führt, dass man *Töne* mit identischem Schalldruck aber unterschiedlichen Frequenzen unterschiedlich laut wahrnimmt. Die Empfindlichkeit in Bezug auf sehr tiefe und sehr hohe Frequenzen ist schwächer ausgeprägt, was sich in der *Hörcharakteristik* zeigt.

Der Referenzwert für den Schalldruck liegt bei 1.000 Hz, weil bei dieser Frequenz das menschliche Gehör besonders empfindlich ist. Die Werte für die Lautstärke wurden empirisch ermittelt. Um eine Aussage über die relative Lautstärke treffen zu können, wurde der Begriff der Lautheit eingeführt, der in der Maßeinheit Sone angegeben wird.

Leistungsverstärker *PA, power amplifier*

Leistungsverstärker (*PA*) bilden die letzte Stufe der Signalverstärkung und sorgen für die Anpassung der Signale an die angeschlossenen Aktoren, Impedanzen oder Geräte. Da sie die letzte Stufe der Signalaufbereitung bilden, werden sie auch als Endverstärker bezeichnet. Endverstärker bereiten die Signale so auf, damit die Signale die angeschlossenen Komponenten treiben können.

Leistungsverstärker gibt es in der *Akustik*, der HF-Technik und Mikrowellentechnik, der optischen Übertragung und der Steuerungstechnik. Bekannte Beispiele sind der Audio-Endverstärker, der für die Spannungsanpassung an die niederohmigen Lautsprecher sorgt, der HF-Endverstärker in einem Sender, der für die Anpassung an die Antenne sorgt, dem optischen



Röhren-Leistungsverstärker, Velleman K 8010

Verstärker, der die Leistung des Lasers verstärkt und das Lichtsignal in die Übertragungsstrecke einspeist oder andere Leistungsverstärker, die Motore oder Schalter steuern.

Audio-Leistungsverstärker sind in allen Rundfunk-, Fernseh- und Audiogeräten enthalten. Es handelt sich dabei entweder um Röhren- oder Transistorverstärker. Ihre Aufgabe ist es, das vom Vorverstärker erhaltene Audio-Signal leistungsmäßig zu verstärken und an die niederohmigen Lautsprecher anzupassen.

Wichtige Kennwerte von Audio-Leistungsverstärkern ist deren Leistung, die sich, bedingt durch die Signalart, in *Nennleistung*, *Spitzenleistung*, *Sinusleistung* und *Musikleistung* unterscheidet. Daneben sind der Klirrfaktor und der Wirkungsgrad zu nennen, der die auf den Lautsprecher übertragene Leistung bestimmt. Da der Wirkungsgrad von Lautsprechern nur sehr gering ist und sich im unteren Prozentbereich bewegt, ist eine optimale Spannungsanpassung an die *Lautsprecherimpedanz* besonders wichtig.

Verstärker unterscheiden sich grundsätzlich in ihren Schaltungskonzepten, die den entsprechenden Erfordernissen angepasst sind. Diese Schaltungskonzepte werden mit Verstärker-Klassen bezeichnet und sind mit Buchstaben gekennzeichnet. Bei Leistungsverstärkern gibt es die Verstärker-Klassen „A“, „B“ und „AB“.

A-Klasse: Bei Leistungsverstärker mit A-Betrieb liegt der Arbeitspunkt in der Mitte des

Verstärkerbezeichnung	Verstärkertyp	Eigenschaften
A-Verstärker	Eintakt-Verstärker	Hohe Linearität, schlechter Wirkungsgrad.
B-Verstärker	Gegentakt-Verstärker	Höherer Wirkungsgrad (ca. 70 %), schlechte Linearität.
AB-Verstärker	Gegentakt-Verstärker	Kompromiss aus mittlerem Wirkungsgrad und Linearität.

Verstärker-Klassen für Leistungsverstärker

linearen Teils der Kennlinien. Es handelt sich um eine Eintakt-Endstufe mit einer relativ hohen Linearität, aber einen schlechten Wirkungsgrad.

B-Klasse: Verstärker im B-Betrieb sind Gegentaktverstärker, die einen wesentlich höheren Wirkungsgrad haben als die mit A-Betrieb, aber dafür auch starke Nichtlinearitäten.

AB-Klasse: Verstärker mit AB-Betrieb werden eintaktmäßig angesteuert, wie der A-Verstärker, arbeiten aber mit symmetrischer Spannungsversorgung. Die in Komplementärschaltung angeordneten Transistoren steuern in den Emitterkreisen direkt den Lautsprecher an. Die AB-Schaltung ist das am häufigsten eingesetzte Endverstärkerkonzept.

C-Klasse: Diese Verstärkerschaltungen werden in der HF-Technik eingesetzt, vorwiegend als HF-Endverstärker in Sendern. Solche C-Verstärker haben hohe Nichtlinearitäten und einen hohen Wirkungsgrad und werden für die Ansteuerung von Antennen benutzt.

D-Klasse: D-Verstärker wurden für die Umtastung entwickelt. Sie fungieren als Schaltverstärker und haben nur geringe Verluste. D-Verstärker werden als getastete Verstärker mit Pulsweitenmodulation auch im Audibereich eingesetzt.

LFE, low frequency effect LFE-Kanal

In den *Surround-Systemen Dolby-Digital*, *Digital Theatre Sound (DTS)*, *SDDS* und *MPEG-Surround* werden Tieftöne über einen speziellen, in der Bandbreite stark reduzierten Tieffrequenzkanal übertragen. Bei *Dolby-Digital* steht das Akronym *LFE* für *Low Frequency Effect*, bei *Digital Theatre Sound (DTS)* für *Low Frequency Enhancement*.

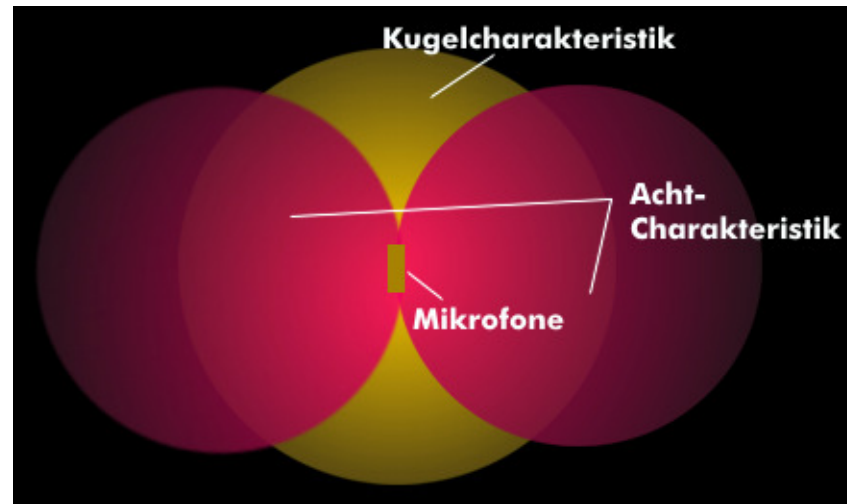
Die Bandbreite des LFE-Kanals ist auf die Bässe begrenzt und damit auf Frequenzen zwischen 20 Hz und etwa 100 Hz. Der LFE-Kanal ist getrennt von den anderen Lautsprecherkanälen und kann in seiner Amplitude geregelt werden, wodurch entsprechende Tiefton-Effekte verstärkt oder gedämpft werden können.

Da der Tieftonkanal nur eine begrenzte Bandbreite hat, wird er in der Nomenklatur der Surround-Systeme nicht als vollwertiger Audiokanal gezählt, sondern der Kanalangabe hinter dem Punkt aufgeführt. Wie das Beispiel 5.1 zeigt, hat dieses System 5 Vollkanäle und einen LFE-Kanal.

M/S-Stereofonie MS, middle/side stereo

Während bei Stereo die Audiosignale für die linke und rechte Seite getrennt aufgenommen, verarbeitet und wiedergegeben werden, arbeitet die *M/S-Stereofonie* mit einem mittigen und einem Seitensignal. Das mittige Signal ist das Summensignal und umfasst alle Signale, die für die linke und rechte Seite identisch sind. Das Seitensignal ist das Differenzsignal und umfasst die Signalunterschiede zwischen der linken und rechten Seite. Aus dem Mitte-Signal (M) und dem Seite-Signal (S) können die einzelnen Signale für die linke und rechte Seite reproduziert werden.

Das M/S-Verfahren hat einige Vorteile gegenüber dem klassischen Stereo, vor allem dann, wenn kaum Unterschiede zwischen beiden Seiten vorhanden sind, repräsentiert das Mitte-Signal das komplette Audiosignal und kann direkt für die *monophone* Aufnahme und Übertragung genutzt werden.



Aufnahmetechnik bei der MS-Stereofonie

Signal eine Kugel- oder Nierencharakteristik haben muss, arbeitet das Mikrofon für das S-Signal mit einer Achter-Richtcharakteristik, wobei dessen Achsenwinkel um 90° versetzt ist. Dadurch erfassen die beiden kreisförmigen Keulen der Achter-Charakteristik die Töne von beiden Seiten.

Die M/S-Stereofonie hat eine ausgezeichnete monophone Wiedergabe und wird in Rundfunk und Fernsehen eingesetzt, aber auch in *Joint-Stereo*.

Der wesentliche Unterschied der M/S-Stereofonie liegt in der Aufnahmetechnik, bei der die beiden Mikrofone für die M- und S-Signale möglichst dicht bei einander liegen müssen oder besser noch in einem Gehäuse untergebracht sein können und sich in der *Richtcharakteristik* unterscheiden. Dadurch entstehen keine Laufzeitunterschiede und somit auch keine *Kammfiltereffekte*.

Während das Mikrofon für das M-

Mikrofonie

Mikrofonie ist ein Störeinfluss bei akustischer Wiedergabe. Es ist ein Effekt bei dem elektronische Bauteile, Platinen und Gehäuse *Schall* aufnehmen, durch den *Schalldruck* ihre Eigenschaften verändern und mit dieser Veränderung das akustische störend beeinträchtigen. Passive und aktive elektronische Bauteile und Komponenten, also Widerstände, Kondensatoren, Spulen, Transistoren und integrierte Schaltungen (IC) können unter

Schalldruck ihre Eigenschaften geringfügig ändern. Der Schalldruck kann dabei direkt auf das entsprechende Bauelement treffen oder auch über Leiterplatten und Gehäuse aufgenommen und an die Bauelemente weitergegeben werden. Die Veränderung erfolgt im Rhythmus der Schalldruckänderung und bewirkt, dass sich Verstärkungsfaktoren oder Impedanzen geringfügig ändern, was sich im verstärkten Signal und damit in der Wiedergabe bemerkbar macht.

Mikrofonie kann als *akustische Rückkopplung* betrachtet werden, bei der elektronische Komponenten die unerwünschte Funktion von „Schallwandlern“ ausführen.

Mono, monophone

Monophon (mono) bedeutet so viel wie einstimmig. Jede akustische Übertragung zwischen zwei Orten ist dann monophon, wenn für die akustischen Informationen nur ein Übertragungsweg verwendet wird. In der Praxis bedeutet das, dass die Schallabstrahlung einkanalig erfolgt, also der *Schalldruck* nur von einer Schallquelle ausgeht, wodurch kein räumlicher Effekt vorhanden ist.

Im Gegensatz zu monophon bedeutet monaural das Hören mit einem Ohr. Das binaurale, ist das zweiohrige, mit dem ein räumlicher Effekt entsteht. Die binaurale Technik bildet bei der Aufnahme und Wiedergabe das menschliche Gehör nach. Eingesetzt wird dieses Verfahren in der *Kunstkopf-Stereofonie* zur realistischen Wiedergabe von mehrkanaligem Audio.

Nachhall reverberation

Der Nachhall oder Widerhall ist der *Klang*, der im Raum nachklingt, wenn der Originalklang abgeschaltet ist. Die Dauer dieses Nachhallfeldes wird als *Nachhallzeit* bezeichnet und setzt sich zusammen aus den ersten Raumreflexionen, der so genannten Early Decay Time (EDT), und der danach folgenden diffusen Nachhallfahne. Der Nachhall ist abhängig von der Raumgröße und dessen Beschaffenheit und stellt den Abklingprozess des *Schalls* in einem

Raum dar.

Die unmittelbaren *Reflexionen* auf einen *Ton* kommen von den Wänden, Decken und Böden des Schallraums. Die folgenden diffusen Reflexionen, die in der Nachhallfahne zum Ausdruck kommen, sind Reflexionen von Reflexionen.

In der Audiotechnik lässt der Nachhall das Klangbild voluminöser erscheinen und verleiht Wärme und Größe. Aus diesem Grund wird bei Audio-Aufnahmen ein Nachhall mit einem *Hallgerät* erzeugt und der Aufnahme beigemischt.

Nachhallzeit

RT, reverberation time

Bei der Nachhallzeit (RT) handelt es sich um die Zeit des *Nachhalls* eines Klangs nach Abschalten der Schallquelle. Die Nachhallzeit ist eine definierte Größe, die sich aus der Abklingzeit nach dem Abschalten eines Sinus-Dauertons ergibt. Es ist die Zeit die vergeht, bis der Schallpegel nach Abschalten eines Sinustons von 800 Hz oder 1 kHz um 60 dB abnimmt, das entspricht einer Schallpegelreduzierung um den Faktor 1.000:1. Voraussetzung für die Messung der Nachhallzeit ist, dass der Raum eingeschwungen ist, das bedeutet, dass sich der Sinuston im ganzen Raum ausgebreitet hat. Den Wert nennt man auch den RT-60-Wert oder T60.

Die Nachhallzeit ist frequenzabhängig und wird bei höheren Frequenzen kürzer. Sie ist abhängig von den Räumlichkeiten und der Raumakustik. In Wohnräumen sollte sie unter 800 ms liegen, in Sälen und Konzertsälen bei zwei bis drei Sekunden.

Nahbesprechungseffekt

proximity effect

Wenn bei gerichteten Mikrofonen die Schallquelle zu nahe am Mikrofon ist, tritt eine Hervorhebung der Bässe auf. Dieser Effekt heißt Nahbesprechungseffekt und hängt damit zusammen, dass eine Beugung der tiefen Frequenzen auftritt, die um die Mikrophonkapsel herum erfolgt und durch das Laufzeitglied die Membran beeinflussen. Im Gegensatz dazu hat

Akustik

der *Schall* bei höheren Frequenzen einen gerichteten Verlauf; diese Frequenzen beugen sich nicht oder nur in geringem Maße. Darüber hinaus reagieren die Mikrofone auch auf die *Schallschnelle*, die bei tiefen Frequenzen nahe der Schallquelle überproportional ansteigt. Je geringer der Abstand zwischen Schallquelle und Mikrofon ist, desto stärker werden tiefe Frequenzen angehoben und es entsteht ein dumpfer, unnatürlicher *Klang*. Der Nahbesprechungseffekt tritt nur bei gerichteten Mikrofonen mit Druckgradientenempfängern bei Abständen von weniger als 60 cm auf. Bei Mikrofonen die ausschließlich für Nahbesprechung ausgelegt sind, wie Lavalier-Mikrofone, wird entweder mit Druckempfängern gearbeitet oder es werden Hochpässe eingesetzt, mit denen die tiefen Frequenzen gedämpft werden.

PA-Anlage

PA, public address



PA-Lautsprecher mit 400 W von Behringer

PA-Anlagen eignen sich für die qualitativ hochwertige *Beschallung* von Konzertsälen, großen Veranstaltungshallen und Stadien. Das „PA“ steht für Public Address, womit der Einsatz im öffentlichen Bereich gemeint ist. Die deutsche Bezeichnung für ein Public Address System ist Beschallungsanlage. In anspruchsvollen PA-Anlagen werden Lautsprecher-Cluster für die Beschallung eingesetzt, dort, wo die Wiedergabequalität an Sprache und Musik den höchsten Anforderungen genügen muss. PA-Beschallungsanlagen bestehen aus akustischen Leistungssystemen mit Audio-Abspielgeräten, Equalizern und Effektgeräten, Mischpulten und Audio-

Akustik

Leistungsverstärkern, PA-Lautsprechern, Mitteltönern und Subwoofern. Die Anzahl der Lautsprecher in einem solchen PA-Beschallungssystem ist praktisch unbegrenzt, so können Lautsprecher-Arrays und -Cluster aus 50 und mehr Lautsprechern bestehen. PA-Lautsprecher-Arrays und -Beschallungssysteme können durchaus mehrere tausend Watt Leistung haben.

Phon ist eine dimensionslose Einheit für die subjektiv empfundene *Lautstärke*, den Lautstärkepegel, angegeben in Dezibel (dB). Da das Phon dem Lautstärkeempfinden nach der Bewertungskurve *dB(A)* entspricht, wird anstelle der veralteten Einheit Phon das dB(A) benutzt.

Die Bezugsfrequenz für das Lautstärkeempfinden ist ein 1-kHz-Sinuston. Auf diesen Bezugston bezieht man das Lautstärkeempfinden bei unterschiedlichen Frequenzen. Man stellt also das Lautstärkeempfinden von unterschiedlichen Frequenzen in Relation zu dem der Bezugsfrequenz von 1 kHz. Dabei erhält man Linien gleich empfundener Lautstärke bei unterschiedlichen Frequenzen.

Solche Liniendiagramme stellen beispielsweise die *Hörcharakteristik* dar.

Die Bezeichnung Phon und deren Definition gehen auf den deutschen Physiker Barkhausen

Sone	1*	2	4	8	16	32	64	128	256
Phon/dB	40	50	60	70	80	90	100	110	120
* 1 Sone entspricht 40 dB bei 1 kHz									

Verhältnis zwischen Sone und Phon

zurück. Die Angabe in Phon entspricht dem Wert in *dB SPL*: 40 phon entsprechen 40 dB SPL. Außerdem steht das Phon in direktem Zusammenhang mit der in *Sone* angegebenen Lautheit.

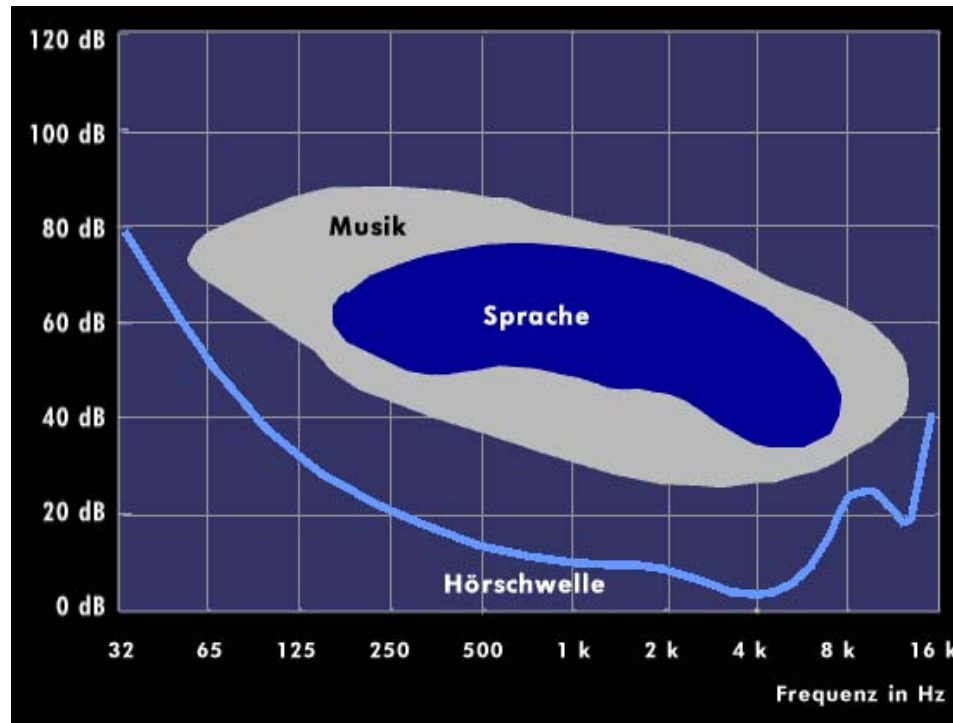
Phon
phon

Polyphonie *polyphony*

Psychoakustik *psycho acoustics*

Polyphonie bedeutet so viel wie Mehr- oder Vielklang. Ein polyphones *Klangbild* ist dadurch gekennzeichnet, dass gleichzeitig mehrere *Töne* oder Stimmen erklingen. Polyphone Klänge können mit Synthesizern und Soundkarten erzeugt werden und spielen in der *Klangsynthese* eine Rolle, ebenso wie für die Bewertung der Leitungsfähigkeit von Soundkarten.

Die Psychoakustik ist die Wissenschaft zur Wahrnehmung von *Schall* durch den Menschen. Sie befasst sich mit der *Hörcharakteristik*, der *Hörschwelle* und den sie beeinflussenden



Frequenz- und Lautstärke-Umfang von Musik und Sprache

Phänomenen. Aus den Erkenntnissen der Psychoakustik wurden verschiedene Bewertungskriterien und Maßeinheiten abgeleitet. So die in *Sone* angegebene Lautheit, die *Rauhigkeit*, angegeben in *Asper*, die *Schärfe* mit der Bewertung in *Acum* und das *Vacil* für die *Schwankungsstärke*. Da viele psychoakustische Phänomene auf dem subjektiven Empfinden basieren, setzt man die empirisch ermittelten Abhängigkeiten von Frequenzen und *Lautstärken* in der Audiokompression zur

Datenreduktion um. Einer der wichtigsten Effekte ist dabei die Verdeckung von Tönen mit unterschiedlicher Lautstärke oder mit temporärer Abdeckung, die so genannte Maskierung. Dem Hörenden werden bei der Umsetzung bestimmte *Töne* vorenthalten, die er nicht wahrnehmen kann. Ebenso wird die Veränderung der Hörschwelle, die durch laute oder leise Töne erfolgt, für die Datenreduktion verwendet, da es keinen Sinn macht, Töne zu übertragen, die unterhalb der Hörschwelle liegen. Auch fasst das menschliche Gehör benachbarte Tonfrequenzen zu einem einzigen Ton zusammen. Darüber hinaus kann Sprache und Musik bedingt durch den unterschiedlichen Frequenz- und Dynamikumfang unterschiedlich stark komprimiert werden.

Rauhigkeit *roughness*

Rauhigkeit ist ein Phänomen der *Psychoakustik* zur Bewertung der Lästigkeit von Klängen und Geräuschen. Man spricht dann von Rauhigkeit, wenn der *Schall* starke zeitliche Schwankungen aufweist, also gewissermaßen moduliert ist. Diese Modulationsstörungen treten besonders stark bei periodisch Schwankungen zwischen 20 Hz und 150 Hz auf. Die stärkste Beeinträchtigung ist bei einer Modulationsfrequenz von 70 Hz. Schall mit dieser Modulation wird als rau empfunden.

Die Einheit der Rauhigkeit ist 1 Asper, definiert als ein 1-kHz-Sinuston, der mit 70 Hz und einem Modulationsgrad von 1 moduliert ist und einen *Schalldruck* von 60 dB hat. Der Asper-Wert verdeutlicht, wie ungleichmäßig und damit wie störend ein Geräusch ist. Für Personal Computer (PC) und Mini-PCs sollten die Asper-Werte $<0,8$ sein.

Raumklang *space sound*

Der Raumklang ist durch die Halligkeit geprägt und optimiert die Klangwiedergabe damit diese dem Original möglichst nahe kommt.

Da der *Klang* durch Reflektionen und *Hall* an Böden, Decken und Wänden beeinflusst wird,

Raumklang-faktoren	Auswirkungen
Absorption	Schallwellen werden von porösen und weichen Materialien verformt und in Wärme umgewandelt.
Beugung	Beugung der Schallwellen in kleinen Öffnungen.
Diffusion	Reflexion der Schallwellen in alle Richtungen.
Flatterecho	Reflexion der Schallwellen zwischen parallelen Wänden.
Reflexion	Zurückwerfen der Schallwellen an glatten Wänden, der Ausfallswinkel entspricht dem Einfallswinkel.
Nachhall	Kummulierte Reflexionen.
Stehwellen	Ständige Reflexion von Schallwellen zwischen zwei Wänden in einem bestimmten Abstand.
Transmission	Durchdringen des Schalls durch Wände und Begrenzungsflächen.

Den Raumklang beeinflussende Faktoren

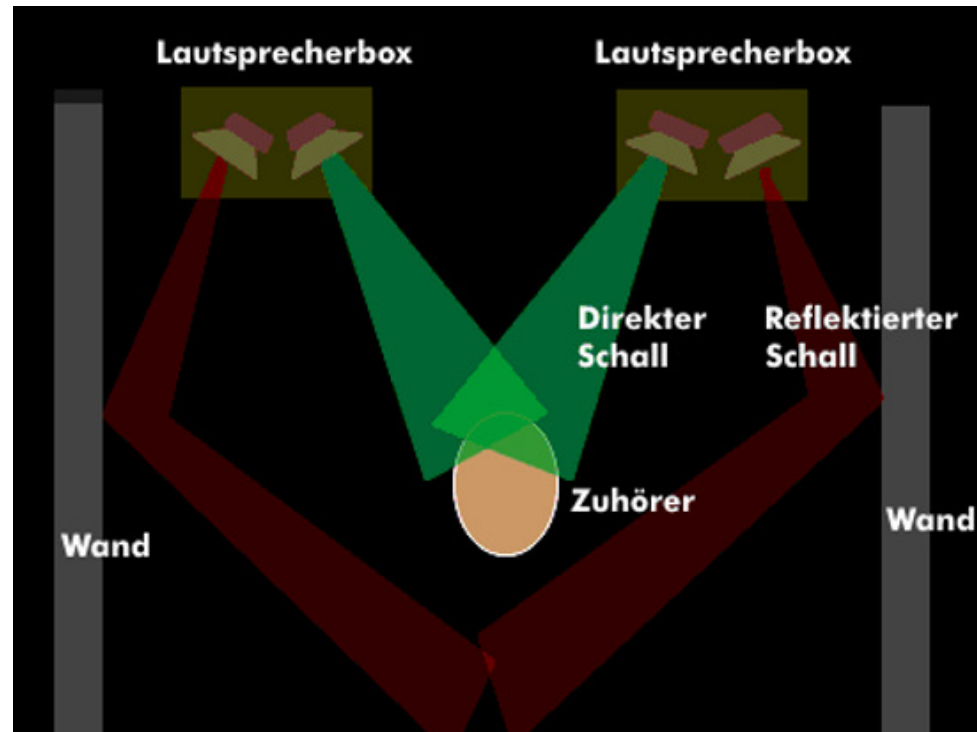
Raumklangempfinden liegt in der *Psychoakustik*. Das menschliche Gehirn erkennt und ortet ein Geräusch oder einen Klang an dessen *Lautstärke* sowie den Klangverfälschungen durch Echos und Reflektionen. Dieses Phänomen wird als Head-Related Transfer Function (*HRTF*) bezeichnet.

Da Raumklang aber mehr ist als die Wiedergabe von zwei Tonkanälen wie bei Stereo, setzten verschiedene Entwicklungen ein wie die Kunstkopfstereofonie, die die genaue Ortung der

sollen mit dem Raumklang die gleichen Effekte erzielt werden, wie sie die Tonaufnahmen umfassen, die in der Regel in größeren Räumlichkeiten aufgezeichnet wurden, in Konzertsälen, Hallen, Studios oder Freilichtveranstaltungen.

Die Basis für das

Akustik



Simulation von Raumklang durch Schallreflektion

Theatre Sound (DTS), *Sony Dynamic Digital Sound (SDDS)* und *Tomlinson Holman Experiment (THX)* in Theatern, Kongresssälen, Kinos oder Heimkinos eingesetzt. Da solche Systeme im Wohnzimmer wenig sinnvoll sind, gibt es verschiedene Lösungen um Raumklang mit zwei Lautsprecherboxen zu simulieren. Alle diese Lösungen arbeiten mit Reflexionstechniken, indem sie einen Teil des Schalls, den Surroundklang, in einem bestimmten Winkel abstrahlen, damit dieser an den Wänden reflektiert wird. Durch die Verzögerung des seitlich abgestrahlten Schalls soll das menschliche Gehirn das Klangbild als Raumklang interpretieren.

verschiedenen Schallquellen zuließ, allerdings mit Kopfhörern arbeitet. Man erkennt wo sich die Schallquelle oder der Interpret befinden, in welcher Entfernung und in welchem Winkel vor, über oder neben einem.

Diese Ansätze führten zum *Surroundklang* mit mehreren Lautsprechern, die vor, neben und hinter den Zuhörern angeordnet sind.

Typischerweise werden solche Systeme wie *Dolby-Digital*, *Dolby-Surround*, *Digital*

Raumkriterium

RC, room criteria

Für die Bewertung der akustischen Qualität von Räumen und Gebäuden gibt es das von der ANSI festgelegte Raumkriterium (RC). Dieses setzt sich aus zwei Werten zusammen, einem numerischen Wert und einem Buchstaben, der die zu erwartende spektrale Qualität bewertet. Der numerische Wert ist der Speech Interference Level (SIL). Er entspricht dem arithmetischen Mittelwert des *Schalldrucks* in den 500-Hz-, 1-kHz- und 2-kHz-Oktav-Bändern.

Die Buchstabenbewertung ist ein subjektiv ermittelter Wert, der empirisch aus vielen Hörern ermittelt wurde. Er kennt als Klassifizierungen der Klangqualität die Bewertung neutral (N), rumpelnd (R) und zischend (H, hissy) oder akustisch induzierte Vibrationsgeräusche (RV).

Reflexion

reflection

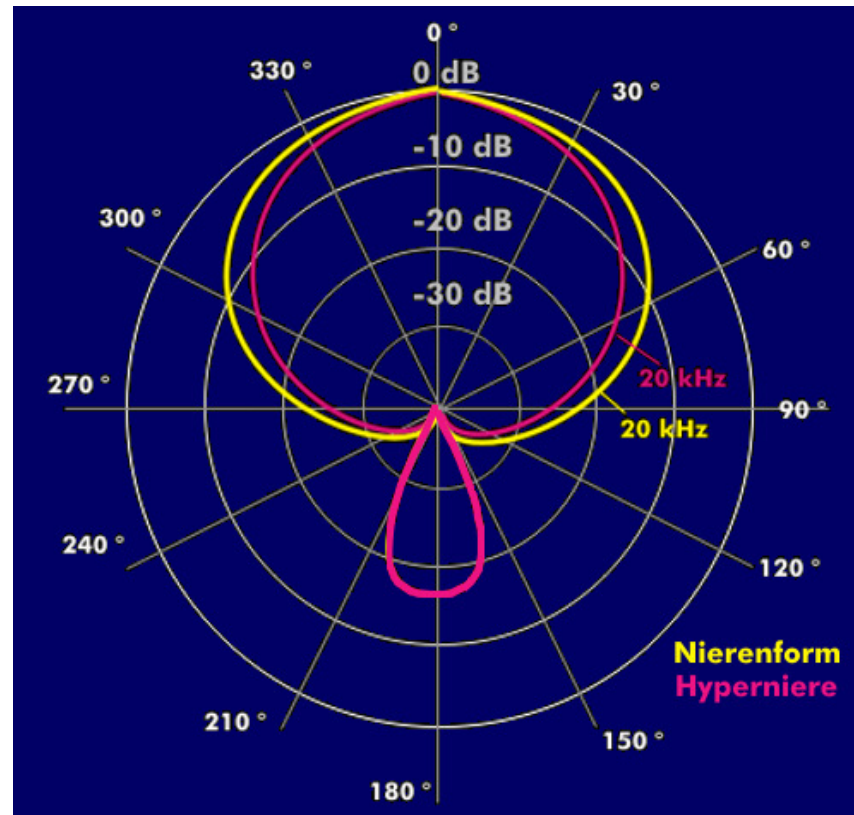
In der *Akustik* ist die Reflexion der *Schallwellen* frequenzabhängig und tritt in verstärktem Maße bei mittleren und hohen Tonfrequenzen auf. Der reflektierte *Schall* ist der *Hall*. Die Schallwellen werden beim Auftreffen auf einen Körper in Abhängigkeit von dessen Größe, Material und Oberflächenbeschaffenheit reflektiert. Bei einem harten Körper mit glatter Oberfläche entspricht der Einfallswinkel dem Ausfallswinkel. Bei gewölbten Körpern erfolgt je nach Wölbung eine Streuung oder eine Bündelung des reflektierten Schalls. Bei weichen Materialien erfolgt eine Absorption.

Treffen reflektierte Schallwellen mit dem direkt abgestrahlten Schall zusammen, dann überlagern sich die beiden Schallsignale. Sind sie kohärent, das heißt, sind ihre Phasenlagen gleich, dann summieren sie sich, sind sie inkohärent, subtrahieren sich ihre Pegel. Diesen Effekt nennt man *Kammfiltereffekt*.

Richtcharakteristik

directional diagram

Ein Parameter von Mikrofonen ist deren Richtcharakteristik. Das ist der Bereich in dem das Mikrofon eine bestimmte Empfindlichkeit aufweist. Diese ist abhängig von dem Winkel in dem der *Schall* auf das Mikrofon trifft.



Richtcharakteristik von Mikrofonen, dargestellt im Polardiagramm

den Varianten Superniere und Hypernierenform, die Kugel-, Achter-, Keulen- und Herzform (kardioid).

Die Richtcharakteristik ist frequenzabhängig, die Empfindlichkeit fällt mit höheren Frequenzen. Aus der Richtcharakteristik können neben dem Abstrahlwinkel noch weitere Parameter entnommen werden. So der Richtungsfaktor, das Richtmaß und der Bündelungsgrad (DRF).

Die Richtcharakteristik wird als Liniendiagramm in einem Polardiagramm aufgezeichnet, wobei die Linie die gleiche Empfindlichkeit in Abhängigkeit vom Schalleinfallswinkel repräsentiert. Der Referenzpunkt liegt im Polardiagramm bei 0 °/360 ° und hat einen Referenzwert von 0 dB. Ein omnidirektional arbeitendes Mikrofon, das den *Schalldruck* aus allen Richtungen gleich aufnimmt, hat eine kugelförmige Richtcharakteristik, kurz Kugelcharakteristik.

Es gibt mehrere charakteristische Formen für die Richtcharakteristik, die abhängig sind von der Bauform und anwendungsspezifisch genutzt werden können: die Nierenform mit

Letzterer ist das Verhältnis zwischen der Schallaufnahme eines Mikrofons mit kugelförmiger Richtcharakteristik zu der eines anderen Mikrofons.

Richtmikrofone haben eine sehr ausgeprägte Keulenform und die höchste Empfindlichkeit auf der Null-Grad-Achse.

Die Nierencharakteristik ist die am häufigsten in der Studioteknik eingesetzte Richtcharakteristik. Es gibt die klassische Herzform, das Kardioid, die Superniere und die Hyperniere. Beim Kardioid werden die Schallquellen vor dem Mikrofon am stärksten wahrgenommen, seitlich angeordnete Schallquellen oder die, die sich hinter dem Mikrofon befinden, hingegen nur gering. Der Bündelungsfaktor liegt bei etwa 1,7. Diese Richtcharakteristik ist ideal für die Aufnahme von Gesang und Instrumente, weil Hintergrundgeräusche stark gedämpft werden.

Die Richtcharakteristik der Superniere ist schmaler ausgeprägt. Seitliche Schallquellen werden geringer erfasst als bei der Nierenform. Der Bündelungsfaktor liegt bei etwa 2,0. Die Superniere eignet sich ideal für die Aufnahme von einzelnen Schallquellen.

Die Kugelcharakteristik zeigt nach alle Richtungen die gleiche Empfindlichkeit. Alle Schallquellen im gleichen Abstand, egal in welchem Winkel sie zum Mikrofon stehen, werden mit gleicher Intensität aufgenommen. Der Bündelungsfaktor liegt bei 2,4. Diese Richtcharakteristik wird bei Aufnahmen von größeren Schallquellen wie Chöre und Orchester eingesetzt und dort, wo die Schallquellen räumlich verteilt sind.

Bei der Acht-Charakteristik ist die Richtcharakteristik um die Mikrofonachse gespiegelt. Schallquellen, die vor und hinter dem Mikrofon stehen, werden mit gleicher Intensität aufgenommen, seitlich angeordnete Schallquellen hingegen werden stark gedämpft aufgenommen. Die Richtcharakteristik wird dann eingesetzt, wenn sich die Schallquellen vor und hinter dem Mikrofon befinden und die seitlichen Störquellen unterdrückt werden sollen.

Akustik

Bei der Keulencharakteristik wird der Schall vorwiegend von vorne und von hinten aufgenommen. Seitlich einfallender Schall wird stark gedämpft. Die Richtcharakteristik ist frequenzabhängig und extrem stark gebündelt, der Bündelungsfaktor liegt bei etwa 3,3.

Schall ist ein physikalisches Phänomen, das aus der Vibration von Materie resultiert und sich in elastischen Medien ausbreitet. Die in der *Akustik* bekannte Form des Schalls ist die einer wechselnden Luftdruckänderung, die sich wellenförmig, räumlich und zeitlich im Raum ausbreitet. Sie entsteht durch Schwingungen in Musikinstrumenten oder Aktoren, wie dem Lautsprecher.

Die Druckänderungen werden über das Medium Luft als Druckänderung zum Ohr und dort in ein akustisches Empfinden umgesetzt. Das menschliche Gehör reagiert auf den *Schalldruck* durch einen entsprechenden Sinneseindruck. Die für den Menschen hörbare Tonfrequenzen liegen zwischen 20 Hz und 20 kHz. Darüber liegende Tonfrequenzen werden mit Ultraschall bezeichnet, darunter liegende mit Infraschall. Schallfrequenzen, die über denen des

Ultraschalls liegen, werden mit Hyperschall bezeichnet.

Schall kann nur in Materie, in festen, flüssigen und gasförmigen Medien, übertragen werden, da bei der Schallübertragung die Moleküle der Medien in ihren Trägheits- und Elastizitätskräften um ihre Ruhelage pendeln. Die durch den Schalldruck ausgelöste Luftdruckänderung wird in bar und Pascal angegeben. Da sich der Schall kugelförmig von

Schall
sound

Bezeichnung	Frequenzbereich
Infraschall	0 Hz bis 20 Hz
Hörbarer Schall	20 Hz bis 20 kHz
Ultraschall	20 kHz bis 1 GHz
Hyperschall	1 GHz bis 10 THz

Klassifizierung des Schalls

Akustik

der Schallquelle ausbreitet, verteilt er sich die *Schallleistung* mit zunehmendem Abstand von der Schallquelle auf eine immer größer werdende Fläche. Der Schalldruck der Schallquelle nimmt somit mit der Entfernung ab. Darüber hinaus gibt es auch eine frequenzmäßige Dämpfung. Höhere Frequenzen werden mit zunehmender Entfernung stärker gedämpft als tiefere Frequenzen.

Die Geschwindigkeit des Schalls, die *Schallgeschwindigkeit*, pflanzt sich in der Luft bei 20 °C mit 343 m/s fort.

Schalldruck

SPL, sound pressure level

Schalldruck (*Pa*, Pascal) ist eine Energieform, die durch Luftdruckänderungen hervorgerufen und subjektiv als *Lautstärke* empfunden wird. Der Schalldruck ist begrenzt durch die *Hörschwelle* und reicht von dieser über 13 Zehnerpotenzen bis zur *Schmerzschwelle*. Der Schalldruck wird in Newton pro Quadratmeter (N/qm) angegeben und umfasst bei 1 kHz einen Schalldruckbereich von etwa 2×10^5 N/qm bis 2×10^{-5} N/qm, wobei 1 N/qm 1 Pa entspricht. Um diesen großen Dynamikbereich vereinfacht darstellen zu können, gibt man den absoluten Schalldruck in logarithmischen Größen als Schalldruckpegel in Dezibel, *dB SPL*, an, was zum Schallpegel (*L*) führt. 0 dB SPL bei 1.000 Hz entsprechen dabei einem Schallpegel von 2×10^{-5} N/qm (Newton/qm), was der Hörschwelle entspricht, und 120 dB entsprechen dem Schallpegel von 2×10^5 N/qm. Ein Watt an akustischer Leistung ist äquivalent 107,5

$$L = 20 \log P/P_o$$

mit $P_o = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$

*L, Schallpegel
P, Schalldruck
P_o, Schalldruck bei Hörschwelle*

Mathematischer Zusammenhang zwischen Schalldruck und Schallpegel

dB SPL in einem Meter Entfernung von einer omnidirektionalen Schallquelle. Eine Erhöhung des Schallpegels um 10 dB entspricht einer Verdoppelung

Akustik

Schalldruck-Verhältnis	Schallpegel
1:1,11	1 dB
1:1,26	2 dB
1:1,41	3 dB
1:2	6 dB
1:3	10 dB
1:10	20 dB
1:100	40 dB
1:1.000	60 dB
1:10.000	80 dB
1:100.000	100 dB
1:1.000.000	120 dB

Schallpegel im Verhältnis und als dB-Wert

der empfundenen Lautstärke. Werden zwei Schallquellen mit gleichem Schalldruck überlagert, erhöht sich der resultierende Schalldruck um 3 dB. Dieser Wert von 3 dB entspricht auch der maximalen Schalldruckerhöhung, den zwei Schallquellen gemeinsam erzielen können. Bei der Addition von Schallpegeln werden nur die dB-Werte addiert. Der Schalldruck nimmt mit der Entfernung von der Schallquelle ab und zwar zum Quotienten der Entfernung (1/Abstand). Eine Verdoppelung der Entfernung hat einen Schalldruckabfall von -6 dB zur Folge, was dem 50%-Wert des Schalldrucks der Schallquelle entspricht.

Schallfeld sound field

Das Schallfeld ist der Raum in dem sich der von einer Schallquelle ausgehende *Schall* ausbreitet. Für die Ausbreitung des Schalls sorgen *Schallwellen*, die für die Übertragung ein Medium benötigen. Ist kein Medium vorhanden, wie im Vakuum, kann sich auch kein Schall ausbreiten.

Das Schallfeld besteht aus einem Nahfeld und dem Fernfeld. Das Nahfeld ist der Bereich in der Nähe der Schallquelle in dem sich die Schallwelle aufbaut. Die Ausbreitung erfolgt in diesem Bereich, der sich bis zum zehnfachen der Wellenlänge ausdehnt, mit Kugelschallwellen. Anschließend folgt das Fernfeld. Es ist der Bereich in dem der *Schalldruck* (SPL) bei Verdopplung der Entfernung vom Lautsprecher um 6 dB fällt. Beide Felder haben

Akustik

charakteristische Eigenschaften hinsichtlich des Schalldrucks und der *Schallschnelle*. Ein weiterer Kennwert zur Beschreibung des Schallfeldes ist die *Schallleistung*.

Schallfelder sind auch durch die Art und Weise der Ausbreitung gekennzeichnet. So kann sich in einem freien Schallfeld, das keine Hindernisse hat, der Schall reflexions- und absorptionsfrei ausbreiten. Anders ist es bei einem diffusen Schallfeld, bei dem der Schall an Hindernissen reflektiert und absorbiert wird.

Schall breitet sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit, der Schallgeschwindigkeit, aus. Diese ist abhängig von dem Medium, in dem es übertragen wird und von dessen Temperatur. Dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit in verschiedenen Medien und bei verschiedenen Temperaturen unterschiedlich ist, hängt ursächlich mit der Molekularbewegung zusammen, die für die Schallausbreitung sorgt.

Der Luftschall breitet sich von einer Schallquelle kugelförmig durch eine Verdichtung und Verdünnung der Luft aus. Die Verdichtung entspricht einem erhöhten *Schalldruck*, die Verdünnung einem verminderten. In Luft beträgt die Schallgeschwindigkeit beim Gefrierpunkt

331 m/s bezogen auf einen Luftdruck in Meereshöhe.

Bei hohen Minustemperaturen, großer Luftfeuchtigkeit und in höheren Luftschichten sinkt sie, sogar unter 300 m/s. In Wasser beträgt die Schallgeschwindigkeit 1,4 km/s und in Eisen 5,1 km/s.

Schallgeschwindigkeit sound velocity

Medium	Schallgeschwindigkeit
Luft (20 °C)	343 m/s
Wasser	1.440 m/s
Aluminium	6.260 m/s
Gummi	1.480 m/s
Eisen	5.100 m/s

Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Medien

Akustik

Schallintensität *sound intensity*

Die Schallintensität (I) ist die Schallleistung bezogen auf eine durchschallte Fläche. Sie nimmt mit dem Quadrat aus der Entfernung (r) von der Schallquelle ab. Dieser Zusammenhang wird als reziprokes Quadraturgesetz bezeichnet und gilt für Energien: $I = 1/r \exp^2$.

Bei den Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass die Schallquelle ihre Schallenergie gleichmäßig nach allen Richtungen ausbreitet. Unter dieser Bedingung reduziert sich die Schallintensität bei einer Abstandsverdoppelung auf ein Viertel. In Dezibel ausgedrückt, reduziert sich die Schallintensität in diesem Fall um 6 dB, verzehnfacht sich der Abstand von der Schallquelle, dann reduziert sich die Schallintensität um 20 dB, was einem hundertstel des ursprünglichen Wertes entspricht.

Schallkennimpedanz *characteristic acoustical mpedance*

Die Schallkennimpedanz ist eine charakteristische Größe für den Schallwiderstand, den ein Medium der Schallausbreitung entgegensetzt.

Im Fernfeld, dieses beginnt mehrere Wellenlängen entfernt von der Schallquelle, dort, wo der Schalldruck und die Schallschnelle phasengleich sind, ist die Schallkennimpedanz (Z) das

Medium	Schallgeschw.	Dichte (kg/cbm)	Schallkennimp. (Ns/cbm)
Luft (0 °C)	331 m/s	1,29	427
Wasser (10 °C)	1.440 m/s	1.000	1.44×10^6
Stahl	5.100 m/s	5.500	28×10^6

Schallkennimpedanz verschiedener Medien

Verhältnis aus dem Schalldruck und der Schallschnelle oder das Produkt aus der Dichte des Mediums (kg/cbm) und der Schallgeschwindigkeit (m/s). Es ist ein materialabhängiger Kennwert, der in

Akustik

Newton-Sekunde pro Kubikmeter (Ns/cbm) angegeben wird.

Da die Schallkennimpedanz direkt von der Schallgeschwindigkeit oder reziprok von der Schallschnelle abhängen, ist die Schallkennimpedanz für Luft stark temperaturabhängig.

Schalleistung *acoustic power*

Schalleistung (Pa) ist die Leistung, die eine Schallquelle pro Zeiteinheit in alle Richtungen abstrahlt. Sie wird in Watt angegeben und bezieht sich auf die Leistung mit der eine Flächeneinheit durchströmt wird. Errechnet wird sie aus dem Produkt der Schallintensität (W/qm) und der durchschallten Fläche (qm).

Aus der flächenbezogenen Schalleistung kann mit der Integration aller Flächen, die sich in einem bestimmten Abstand von der Schallquelle befinden, die Schalleistung der Schallquelle ermittelt werden.

Schallschnelle *sound particle velocity*

Die Schallschnelle (v) ist die Wechselgeschwindigkeit mit der die Luftmoleküle im Schallfeld um ihre Ruhelage schwingen. Sie ist abhängig von der Tonfrequenz und dem Schallpegel und

Luft- temperatur	Schallge- schwindigk.	Schallschnelle v 1/c
-10 °C	324 m/s	3,09 ms/m
0 °C	331 m/s	3,02 ms/m
20 °C	343 m/s	2,91 ms/m
30 °C	349 m/s	2,86 ms/m

Schallgeschwindigkeit und Schallschnelle bei verschiedenen Lufttemperaturen

ist definiert als Schallausschlag pro Zeiteinheit in m/s.

Bei einer sinusförmigen Schallwelle hat die Schallschnelle beim Nulldurchgang ihren höchsten Wert, weil sich die angeregten Teilchen zu diesem Zeitpunkt am schnellsten ändern. Zum Maximum und Minimum des Sinussignals nimmt die

Akustik

Schallschnelle bis auf Null ab.

Bei einer ebenen Schallwelle, wie sie sich im Fernfeld ausbreitet, sind der Schalldruck und die Schallschnelle in Phase, die Schallschnelle ist proportional zum Schalldruck und korreliert mit der Tonfrequenz. Im Nahbereich der Schallquelle sind beide Größen phasenversetzt. Bei einer Kugelschallwelle eilt der Schalldruck der Schallschnelle um 90° voraus. Die Schallschnelle entspricht in diesem Fall dem Cosinus des Schalldrucks.

Schalltoter Raum

FAC, fully anechoic chamber

Ein schalltoter oder echofreier Raum (FAC) ist ein akustischer Raum in dem Töne keine Echos haben oder nachhallen.



Schalltoter Raum mit Messaufbau, Foto: EMCC

Es ist ein Raum in dem jeder Ton total absorbiert wird. Um eine totale Absorption zu erreichen sind Wände, Decke und Böden von schalltoten Räumen mit pyramidenförmigen Absorbern bestückt, die den ausgesendeten Schall komplett aufnehmen, und keine Schallenergie reflektieren. In solchen schalltoten Räumen können Lautsprecher, Mikrofone und die Geräusche von mechanischen Einrichtungen getestet werden.

Schallwelle *sound wave*

Eine Schallwelle ist eine Druckwelle im hörbaren Bereich. Sie entsteht an der Schallquelle, beispielsweise dem Lautsprecher, und pflanzt sich in festen, flüssigen und gasförmigen Materialien fort. Schallwellen können kugelförmig oder richtungssensitiv abgestrahlt werden und unterliegen der Beugung, Brechung, Reflexion und Absorption. Die Geschwindigkeit mit der sich Schallwellen ausbreiten, ist die Schallgeschwindigkeit. Sie ist abhängig von der Konsistenz des Mediums und liegt in Metallen bei 5.000 m/s und in Luft bei 330 m/s, wobei die Schallgeschwindigkeit stark temperaturabhängig ist. Die für Menschen hörbaren Frequenzen des Schalls liegen zwischen 20 Hz, was einem sehr tiefen Ton entspricht, und 20 kHz, für extrem hohe Töne. Die daraus errechneten Schallwellenlängen liegen zwischen 17 m für eine 20-Hz-Schwingung und 1,7 cm für eine 20-kHz-Schwinung.

Schärfe *sharpness*

Die Schärfe ist ein psychoakustisches Phänomen, das durch hochfrequente Schallsignale erzeugt wird und weitestgehend pegelunabhängig ist. Als Einheit für die Schärfe wurde Acum definiert; wobei 1 Acum dem Schärfeempfinden entspricht, das durch das Rauschen eines Bandpassfilters von 1 kHz mit einer Bandbreite von 200 Hz bei einem Schalldruck von 60 dB erzeugt wird. Der Asper-Wert für die Rauigkeit macht sich im Zischen bemerkbar.

Schmerzschwelle *threshold of pain*

Das menschliche Hören ist durch den Schalldruck bestimmt, dessen Lautstärkeempfinden sich in der Hörcharakteristik widerspiegelt. Die Hörcharakteristik ist durch die Hörschwelle und die Schmerzschwelle begrenzt.

Die Schmerzschwelle ist der Schalldruck bei dem die Lautstärke Schmerzen bereitet. Sie ist frequenzabhängig und fällt bei höheren Frequenzen, außerdem ist sie abhängig vom Musikgeschmack. Allgemein gilt als Schmerzschwelle ein Wert von 130 dB SPL, der bei höheren

Frequenzen auf 120 dB SPL sinkt.

Als Bewertung für zu hohe Lautstärken, die die Schmerzschwelle erreichen könnten, gibt es die Bewertungskurve dB(C), die eine Lautstärkebewertung bei 90 Phon vornimmt.

Schwankungsstärke *fluctuation strength*

Zeitliche Schwankungen von Schall werden über die Schwankungsstärke bestimmt. Es handelt sich dabei um Schwankungen in der Lautstärke. Als Einheit für die Schwankungsstärke wurde das Vacil definiert. Per Definition entspricht die Schwankungsstärke von einem Vacil der Schwankung eines 1-kHz-Tones bei einem Schalldruck von 60 dB, mit einer Modulationsfrequenz von 4 Hz und einem Modulationsgrad von 100 %.

Sinusleistung *sine power*

Bei Leistungsverstärkern unterscheidet man zwischen Nennleistung, Spitzenleistung und Sinusleistung.

Die Sinusleistung entspricht der Dauerleistung eines Sinustons. Es ist ein Effektivwert, der sich aus einem sinusförmigen Signal ergibt. Die Sinusleistung ist um einiges höher als die Nennleistung.

DIN hat die Messung der Sinusleistung in DIN 45324 und 45500 für qualitativ hochwertige Endverstärker spezifiziert. Danach muss ein Sinus-Dauerton von 1 kHz für 10 Minuten abgegeben werden, ohne dass der Klirrfaktor 1 % überschreitet.

Sone

Die Lautheit ist der subjektiv empfundene Lärmpegel, sie wird in Sone angegeben, was von dem lateinischen Sonare (klingen) abgeleitet ist. Das Sone wurde aus den Erkenntnissen der Psychoakustik gebildet und berücksichtigt die Hörcharakteristik mit deren Frequenz- und Pegelabhängigkeit.

Die Lautheit wird durch die Lautstärke und die Art des Schallereignisses bestimmt. Ein länger

Akustik

Linearer Bereich zwischen Sone und Phon									
Sone	1*	2	4	8	16	32	64	128	256
Phon/dB	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Nichtlinearer Bereich zwischen Sone und Phon									
Sone	1*	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64		
Phon/dB	40	32	25	19	14	11	9		
* 1 Sone entspricht 40 dB bei 1 kHz									

Linearer und nichtlinearer Sone-Bereich

Phon oder Dezibel (dB) entspricht die Verdoppelung des Sone-Wertes einer Erhöhung des Phon- oder dB-Wertes um 10 dB. Bei einer Abnahme des Schalldrucks ist der Zusammenhang allerdings nicht mehr linear.

Der Sone-Wert gibt das menschliche Hörempfinden besser wieder als der logarithmische Wert für den Schalldruck nach dB(A). So stehen Sone-Werte von <1 für sehr geräuscharme Geräte, Werte >1 gelten als geräuscharm und erst Werte von >2 gelten immer noch als leise.

In der Computertechnik wird die Störimmissionen von CD-Laufwerken, Lüftern, Druckern und Projektoren in Sone angegeben.

anhaltender Ton wird lauter empfunden als ein impulsartiger. Sone gibt das Verhältnis der Lautheit zweier Töne bei einer bestimmten Frequenz an. Ein Sone entspricht einem Schalldruck von 40 dB bei einer Frequenz von 1 kHz. Hat ein Ton die doppelte Lautheit wie ein Vergleichston, dann beträgt die Lautheit 2 Sone, bei einer dreifachen Lautheit 3 Sone usw. In der Relation zum

Spitzenleistung
peak power

Der Begriff Spitzenleistung wird in der Akustik als Kennwert von Leistungsverstärkern benutzt. Es handelt sich dabei um die maximale Leistung, die ein Verstärker für eine kurze Zeit an den Lastwiderstand, bzw. den Lautsprecher, abgeben kann. Die für die Bewertung der

Spitzenleistung angegebene Zeit liegt typischerweise bei 10 ms. Bei anderen Messverfahren wie bei Peak Music Power Output (PMPO) erfolgt die Bewertung der Spitzenleistung mit 1 ms.

Spitzenmusikleistung,
peak music power output,
PMPO

Die Abkürzung PMPO steht für Peak Music Power Output, zu Deutsch Spitzenmusikleistung, und ist ein Kennwert von Lautsprechern und Leistungsverstärkern. Sie steht gleichermaßen für Peak Music Power Output und Pulse Modulated Power Output und gibt die maximale Belastbarkeit in Watt (W) für einen extrem kurzen, nicht eindeutig definierten Belastungszeitraum von ca. 1 ms an. Diese theoretische Spitzenleistung ist wenig aussagefähig, da sie keine Angabe über die Dauerbelastung macht. Als grobe Annäherung kann man den PMPO-Wert durch 100 dividieren und kommt auf eine realistische Leistungsangabe für die Nennleistung. So kann eine PMPO-Angabe von 300 W einer Nennleistung von 3 W entsprechen.

Der PMPO-Wert errechnet sich aus dem Aussteuerbereich des Leistungsverstärkers. In der Praxis wird der Effektivwert eines Sinussignals für die Bewertung von Verstärkern und Lautsprechern benutzt.

Stehwelle
standing wave

Bei der Übertragung von Wellen über ein Medium kann es zu Reflexionen kommen. Beim Kabel werden Reflexionen durch fehlerhafte Impedanzen ausgelöst, beim Schall von reflektierenden Wänden, Decken und Böden. In beiden Fällen wird sich die reflektierte Welle der ursprünglichen Welle überlagern und je nach Phasenlage der Reflexion als Welle mit größerer oder kleinerer Amplitude im Medium stehen. Daher die Bezeichnung Stehwelle.

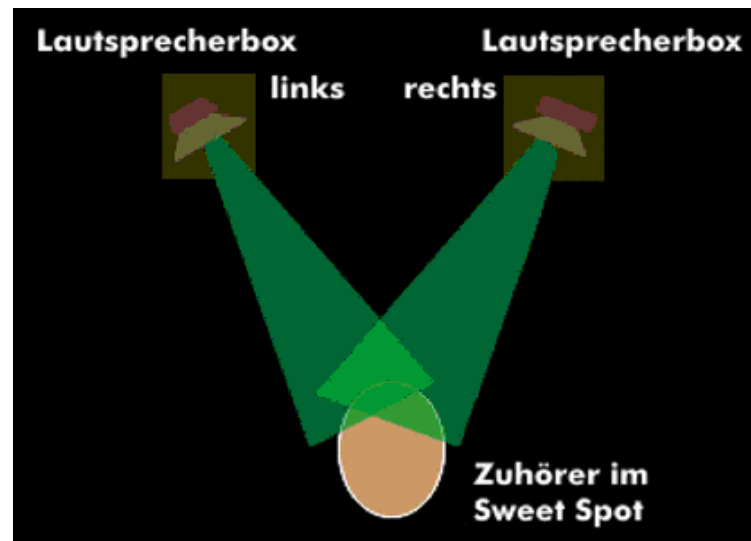
In der Akustik entsteht eine Stehwelle durch die Reflexion der ursprünglichen Welle an Wänden oder Decken. Welche spezielle Frequenz reflektiert wird, hängt dabei u.a. von der Schallgeschwindigkeit ab, der Größe des Resonanzraumes, Saals oder Wohnraums. Die an den

Wänden reflektierte Welle überlagert sich mit der ursprünglichen und kann je nach Phasenlage in der Amplitude höher sein als die ursprüngliche.

Stereo Stereofonie

Stereo ist eine mehrkanalige Wiedergabetechnik für Audio. Die stereophone Wahrnehmung basiert auf der Summenlokalisierung und kann durch die Signallaufzeiten und Pegelunterschiede so manipuliert werden, dass der Hörer eine virtuelle Schallquelle zwischen den beiden Lautsprechern wahrnimmt. Die Breite der virtuellen Quelle ist dabei abhängig vom Informationsinhalt beider Kanäle. Ist dieser relativ gleich, dann bildet sich eine punktförmige Quelle zwischen den beiden Lautsprechern aus, weichen die beiden Audiosignale stark voneinander ab, bildet sich eine breitere Schallquelle aus.

Zur stereophonen Wiedergabe werden zwei Schallquellen benutzt, die über getrennte



Stereophone Wiedergabe mit zwei Schallquellen

Aufnahme-, Verstärker- und Übertragungseinrichtungen angesteuert werden. Mit der Stereofonie werden Richtungsinformationen erzeugt, mit denen der Raumklang nachgebildet wird. Stereosysteme versuchen dem menschlichen Hörempfinden nahe zu kommen, indem sie über zwei getrennte Übertragungswege den beiden Schallquellen eine richtungsabhängige Schallinformation abstrahlen. Im Wiedergaberaum liegt dann ein plastisches Klangbild vor, das die Ortung

einzelner Instrumente oder Sprecher ermöglicht.

Die einfache Stereotechnik (2.0) hat zwei Tonkanäle und zwei Lautsprecher für den linken und den rechten Kanal. Die 2.0 steht für 2 Volltonkanäle und keinen Tieftonkanal.

Neben dem normalen Stereo gibt es noch das Joint-Stereo, das höher komprimiert ist, weil nur bestimmte Frequenzanteile beider Kanäle berücksichtigt werden.

Generell unterscheidet man bei der Stereophonie zwischen der Laufzeitstereophonie und der Intensitätsstereophonie. Die Unterschiede zeigen sich in der Stereo-Aufnahmetechnik und der Anordnung der Mikrofone. Bei der Laufzeitstereophonie sind die beiden Mikrofone in unterschiedlichen Abständen und in verschiedenen Winkelungen zueinander angeordnet und können auch verschiedene Richtungscharakteristiken haben. Bei diesen Anordnungen nutzt man die Laufzeiten und die Pegelunterschiede um ein optimales Klangbild für den stereophonen Raumklang zu erreichen. Die AB-Stereophonie ist ein Aufnahmeverfahren, das mit Laufzeitunterschieden arbeitet.

Dagegen setzt die Intensitätsstereophonie auf unterschiedliche Schallpegel, die auf die Mikrofone auftreffen. Bei dieser Technik sind die Mikrofone dicht beieinander oder sogar in einem Gehäuse untergebracht. Zu der Intensitätsstereophonie gehören die *M/S-Stereophonie*, *XY-Stereophonie* und das Blumlein-Verfahren. Letzteres arbeitet mit zwei Mikrofonen mit Achter-Richtcharakteristik, die einen Winkel von 90 Grad zueinander haben.

Eine weitere Aufnahmetechnik ist die Trennkörper-Stereophonie. Dabei werden zwei Kleinmembran-Mikrofone an den Seiten eines Trennkörpers angebracht, so als wären sie anstelle der Ohren und der Trennkörper der menschliche Kopf.

Werden stereophone Aufnahmen mit mehr als zwei Mikrofonen durchgeführt, spricht man von Polymikrofonie.

Surround

Unter Surround versteht man eine Rundum-Technik für die Audiowiedergabe mit der der Raumklang nachgebildet werden soll. Es handelt sich um eine mehrkanalige Wiedergabe, bei der auch der Bereich neben und hinter den Zuhörern durch Lautsprecher und Dipollautsprecher ausgeschallt wird. Die seitlichen und rückwärtigen Signale werden über Decodierung gewonnen und vermitteln in Verbindung mit den weiteren Lautsprechern einen verbesserten Raumklang. Surround-Konfigurationen können sich aus den vorderen Lautsprechern, dem linken und rechten Centerlautsprecher, dem Centerlautsprecher, den seitlichen und rückseitigen Lautsprechern sowie den Tieftönern zusammen setzen. Die Angabe der Konfiguration erfolgt in der Schreibweise: Lautsprecherboxen.Bassreflexboxen. So sagt eine 5.1-Konfiguration aus, dass das Surroundsystem fünf Lautsprecherboxen und einen LFE-Kanal für Subwoofer hat, die folgendermaßen angeordnet sind: Center, Center links und rechts, rückseitige links und rechts und eine Bassreflexbox.

Benutzt wird die Surround-Technik u.a. bei *Dolby-Digital*, *Dolby-Surround*, *Digital Theatre Sound* (DTS), *Sony Dynamic Digital Sound* (SDDS), Tomlinson Holman Experiment (THX) und MPEG-Surround.

TDIF, Tascam digital interface

Tascam Digital Interface (TDIF) ist eine Schnittstelle für die Übertragung von acht digitalen Kanälen, vergleichbar mit der ADAT-Schnittstelle.

Die TDIF-Schnittstelle wurde von Tascam entwickelt und wird in der Studioteknik eingesetzt. Sie arbeitet im Gegensatz zu ADAT mit einem 25-poligen Sub-D-Stecker, über den die Eingangs- und die Ausgangssignale geführt werden.

THX, Tomlinson Holman experiment

THX (Tomlinson Holman Experiment) ist ein geschütztes Warenzeichen, das nach seinem Erfinder Tomlinson Holman von der Firma Lucasfilm benannt ist. Bei THX handelt es sich um

die Definition der Audio-Wiedergabequalität für Kinosound. Es gibt mehrere THX-Varianten, so auch eine für den Heimkinobereich, THX-Home. Wenn Audio-Systeme oder -Komponenten, die von THX definierte Wiedergabequalität erfüllen, können sie zertifiziert werden und erhalten das THX-Logo.

THX-Home: Diese THX-Norm ist so modifiziert, dass sie den Anforderungen des Heimkinos gerecht wird. Dazu gehört die Optimierung der Audiokanäle, wodurch im Heimbereich weniger Lautsprecherboxen benötigt werden. Die Anpassung und Optimierung der Klangqualität an den Heimbereich übernimmt ein THX-Prozessor im AV-Receiver.

THX-Ultra: THX-Ultra entspricht der ursprüngliche THX-Norm und eignet sich für die Wiedergabe in größeren Räumen. THX-Ultra setzt auf eine gute Wiedergabequalität und auf die Lokalisierbarkeit von Geräuschen. Die Abstrahlcharakteristiken der Lautsprecher und Dipollautsprecher sind exakt festgelegt, ebenso kommt der Anordnung der einzelnen Mittel- und Hochtönern eine besondere Bedeutung zu. Um den Soundanteil zu erhöhen werden *Reflexionen* weitestgehend reduziert.

THX-Select: THX-Select eignet sich für kleinere Räume und hat keine so stringenten Anforderungen an die Lautsprecher und deren Anordnung wie THX-Ultra. Es kann daher auch im Heimbereich eingesetzt werden. Ungenauigkeiten im *Raumklang* lassen sich durch die Abstimmung des Sounds kompensieren.

THX-Surround EX: Dieses Verfahren wurde gemeinsam von Lucasfilm und Dolby entwickelt und bietet *7.1-Sound*. Es hat neben den Frontlautsprechern und dem Subwoofer noch zwei Surround-Kanäle. Beide Surround-Lautsprecher strahlen das gleiche Signal ab, das aber pegel- und laufzeitmäßig zum optimalen Klangempfinden anpassen lässt.

THX Ultra ist das ursprüngliche THX-Format. Dieses Format gibt es in zwei Varianten als THX Ultra und THX Ultra II. Während sich THX Ultra für die *Beschallung* von größeren Heimkinos

eignet, unterstützt die II-Version den Surroundklang nach 5.1 und 7.1, also mit fünf oder sieben Lautsprechern und einem Subwoofer und außerdem eine exakte Wiedergabe von 5.1-Material auf 7.1-Systemen.

Tri-Wiring

Das Tri-Wiring ist ein Anschlusskonzept von Lautsprecherboxen. Analog zum *Bi-Wiring* hat das Tri-Wiring drei getrennte Lautsprecherkabel: eines für den Hochtöner, ein zweites für den Mitteltöner und das dritte für den Tieftöner. Voraussetzung für das Anschlusskonzept ist, dass die Anschlüsse der einzelnen Chassis einzeln nach außen geführt sind.

Das Konzept unterscheidet sich vom Bi-Wiring dadurch, dass der Hoch- und Mitteltöner nicht gemeinsam an ein Kabel angeschlossen werden, sondern jedes Chassis für sich an ein eigenes.

XY-Stereofonie

XY stereo

Generell kann das *Klangbild* von zwei Stereokanäle dadurch erzeugt werden, dass man entweder die Laufzeitunterschiede zwischen dem linken und dem rechten Stereokanal benutzt oder aber die Schallpegelunterschiede.

Die *XY-Stereofonie* ist eine Intensitätsstereofonie, bei der aus den Schallpegelunterschieden die verschiedenen Mono- und Stereo-Signale gebildet werden.

Die Aufnahmetechnik ist dadurch gekennzeichnet, dass zwei Mikrofone mit Nierencharakteristik dicht bei einander aufgestellt werden. Da der Abstand zwischen den beiden Mikrofonen bei hohen Frequenzen zu Phasenverschiebungen führen kann, sollten die beiden Mikrofonkapseln in einem Gehäuse untergebracht sein. Die *Richtcharakteristiken* der Mikrofone sind gegeneinander gewinkelt und zeigen in verschiedene Richtungen. Der Winkel zwischen den beiden Richtcharakteristiken kann zwischen 0 Grad und 135 Grad liegen wobei bei 0 Grad ein *Monosignal* erzeugt wird, da beide Mikrofonkapseln das gleiche Schallsignal

empfangen und umsetzen. Über die Schallpegeldifferenz beider Mikrofonsignale werden das Mitten- und die beiden Seitensignale bestimmt.

Impressum

Herausgeber

Klaus Lipinski
Datacom-Buchverlag GmbH
84378 Dietersburg

ISBN: 978-3-89238-180-8

Akustik

E-Book, Copyright 2010

Trotz sorgfältiger Recherche wird für die angegebenen Informationen keine Haftung übernommen.



Dieses Werk ist unter einem Creative Commons
Namensnennung-Keine kommerzielle Nutzung-Keine
Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenzvertrag lizenziert.

Erlaubt ist die nichtkommerzielle Verbreitung und Vervielfältigung ohne das Werk zu verändern und unter Nennung des Herausgebers. Sie dürfen dieses E-Book auf Ihrer Website einbinden, wenn ein Backlink auf www.itwissen.info gesetzt ist.

Layout & Gestaltung: Sebastian Schreiber
Titelseite: © Yurok Aleksandrovich - Fotolia.com
Produktion: www.media-schmid.de

Weitere Informationen unter www.itwissen.info